全国五年制高等职业教育通用教材

物理实验与实训

丁振华　编
张世忠　主审

高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 简 介

本书是以全国五年制高等职业教育公共课程开发指导委员会2000年审定的《技术物理基础课程基本要求》为依据，参考大多数(五年制)高职院校的实验条件编写的，是与丁振华编写的《技术物理基础》(上、下册)配套使用的实验与实训教材。本书加强了实验设计思路的介绍，对一些实验提出多种实验方案，给教师和学生以更多的选择余地。在实验内容上，本书减少了验证性实验，增加了测量性实验、研究性实验和设计性实验。

本书内容分为四大部分：第一部分为常用物理仪器简介；第二部分为学生分组实验；第三部分为研究性课题；第四部分为综合实践训练。

本书适用于以初中毕业为起点的五年制高职物理实验的教学，可供五年制高职各类专业使用，也可作为中职实验教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

物理实验与实训/丁振华编. —北京:高等教育出版社,2004.7
ISBN 7-04-014903-6

Ⅰ.物… Ⅱ.丁… Ⅲ.物理-实验 Ⅳ.04-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第047208号

策划编辑 邵 勇 责任编辑 王文颖 封面设计 李卫青
责任绘图 朱 静 版式设计 王艳红 责任校对 金 辉
责任印制

出版发行 高等教育出版社 购书热线 010-64054588
社 址 北京市西城区德外大街4号 免费咨询 800-810-0598
邮政编码 100011 网 址 http://www.hep.edu.cn
总 机 010-82028899 http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本 850×1168 1/32 版 次 年 月第1版
印 张 4.375 印 次 年 月第 次印刷
字 数 100 000 定 价 7.40元

本书有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。
版权所有 侵权必究

前　言

五年制高等职业技术教育的主要任务是培养一大批具有必要的理论知识和较强实践能力的应用性人才，而物理实验正是实现这一目标的重要手段。通过物理实验，可以使学生掌握实验的基本知识、基本方法和基本技能，提高学生的动手能力，培养学生的创新意识和创新能力。

为此，本书打破了传统的编排体系，加强了实验设计思路的介绍，对一些实验提出多种实验方案，给教师和学生以更多的选择余地。在实验内容上，本书减少了验证性实验，增加了测量性实验、研究性实验和设计性实验。

本书内容分为四大部分：

第一部分为常用物理仪器简介，着重介绍常用物理仪器的性能、工作原理、使用方法以及注意事项等。

第二部分为学生分组实验，本书精选了 20 个学生分组实验，共 35 课时。根据技术物理基础课程对实验的要求，各学校可根据自己的实验条件选择 14 ～16 个学生分组实验进行实验教学。

第三部分为研究性课题，目的是为了培养学生综合运用所学知识的能力、收集和处理信息的能力、分析和解决问题的能力以及团结协作能力，培养学生的创新意识。课题研究主要着眼于这些能力与意识的培养，而不在于某项具体知识的学习。每个学生可根据自己的情况和学校的条件选择 1 ～2 个课题，在教师的指导下进行研究。

第四部分为综合实践训练，是为了体现高职教育特色，培养学生综合实践能力而设的。根据技术物理基础课程的要求，有条件

的学校应专门安排一周时间为物理综合实践训练专用周，各学校可根据具体情况和实验条件组织学生进行实践训练。

本书是在中国物理学会教学委员会职教分委会、中国教育学会物理专业委员会职教工委会组织和指导下，由徐州工业职业技术学院丁振华编写，山东建工学院张世忠主审。本书在编写过程中，得到徐建中、牛金生、郝超、段超英、黄斌等领导的大力支持和帮助。在本书与广大读者见面之际，谨向他们表示衷心的感谢。

编写本书时，参考了许多文献资料，在此对有关资料的编著者深表谢意。

由于编者水平有限，加上编写时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编　者

2004 年 2 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

绪　　论

一、物理实验的地位和作用

物理学是一门建立在实验基础上的科学，物理概念的建立以及物理定律的发现都是以实验为依据的，理论研究工作虽可以用逻辑推理的方法获得新的理论，但最终还要依靠实验提供精确的数据来验证。如果新的理论和实验事实不一致，则不论理论体系本身有多么严密，都不能不进行修正，甚至于被否定。物理实验在物理科学的创立和发展中占有十分重要的地位。我们所做的物理实验，对加深理解物理基本概念、基本定律，提高动手能力都有很大的帮助。

物理实验不仅在物理学的发展中占有重要的地位，而且在推动其他自然学科和工程技术的发展中也起着重要的作用。特别在不少交叉学科中，物理实验的思想、方法和技术与化学、生物学、天文学等学科的相互结合已取得丰硕的成果。此外，物理实验还是众多高新技术发展的源泉。原子能、半导体、激光、超导和空间技术等最新科技成果，都是与物理实验密切相关的。

二、物理实验的目的和要求

开设物理实验的目的是：

(1) 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量，使学生学习并掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能，加深对物

理基本概念和基本理论的认识。

(2) 使学生学会常用物理仪器的调整及正确的使用方法。要做好一个实验,除了要了解有关理论外,还必须能运用恰当的实验方法,合理地选取符合实验要求的仪器,懂得怎样装配、调整及正确操作这些仪器。

(3) 使学生初步具有处理数据、分析结果、撰写实验报告的能力。在取得必要的数据后,通过计算、分析,能从中得出切合实际的结论,并能判断实验结果的可靠程度和存在的问题。

(4) 培养学生严肃认真、实事求是的科学态度和工作作风。

物理实验是同学们进入高职后受到系统实验技能训练的开端,是后续课程实验的基础。要求同学们认真对待每一个实验。

在物理实验中要求做到以下几点:

(1) 每次实验前应认真预习实验指导书,明确实验的目的、原理和使用哪些仪器,弄清实验操作步骤、应测量记录的数据等。特别是注意事项,不仅要仔细看,还要牢记,否则会造成仪器损坏,甚至人身事故。

在预习的基础上,写好预习报告。其内容包括实验名称、实验目的、实验原理、实验步骤和数据记录表格等。此外,根据实验内容,准备好实验中所需的绘图工具、计算器等。

(2) 实验中要正确使用仪器,满足仪器的正常工作条件。如弹簧秤的调零、螺旋测微器的调零、物理天平调底座水平和横梁平衡、光路调共轴等。不重视仪器的调整而急于进行测量,是初学者易犯的毛病,应予纠正。

(3) 使用仪器进行测量时,要按合理的步骤进行操作,遵循“先定性,后定量”的原则。即先定性地观察实验全过程,确认整个实验装置工作是否正常,对所测内容做到心中有数。测量时,观测者应集中精力、细心操作,正确记录实验结果。

(4) 遵守实验室规则,实验完毕后要及时切断电源,整理好仪器。最后按要求写出实验报告。

三、物理实验的分类

1．测量性实验

测量性实验主要是测量某些物理量。目前高职物理实验中，要测量的物理量主要有：质量、长度、时间、力、加速度、温度、压强、体积、电流、电压、电阻、电动势、内阻、焦距等。

2．验证性实验

验证性实验主要是验证某个已知的物理规律。学生是在已知结论的基础上，按部就班地完成实验步骤，最后得出实验结论。验证性实验主要是为了培养学生的实验操作、数据处理和计算技能。这类实验主要有：“验证机械能守恒定律”、“验证动量守恒定律”等。

3．研究性实验

除了包括物理量的测定或定律的验证外，还有对某一物理现象的研究。如“研究加速度与作用力、质量的关系”、“感应电流方向的研究”等。

4．设计性实验

设计性实验就是要求学生运用所学知识，自行设计具体的实验方案来进行实验。设计性实验可以检测学生掌握实验基本功的情况，有助于提高学生分析问题和解决实际问题的能力，为学生今后进行工程实验和科学研究奠定基础。

在设计性实验中，学生要根据实验要求，认真查阅有关参考资料，根据有关理论，确定实验方法，选配仪器设备，拟定实验步骤，进行实验和数据处理，最后写出完整的实验报告。

四、物理实验的基本测量方法

物理测量是泛指以物理理论为依据，以实验仪器和装置及实

验技术为手段进行测量的过程。下面仅对物理实验中常用的几种基本测量方法作简单的介绍。

1．比较法

比较法是物理实验中最普遍、最基本的测量方法，它是将待测物理量与选作标准单位的物理量进行比较而得到测量值的。例如，用米尺来测量某一物体的长度就是最简单的比较法，其中最小分度毫米就是作为比较用的“标准单位”。在比较法中，被选作比较用的标准单位与待测量应该是同类物理量。

2．放大法

在物理实验的测量中，有时由于被测量太小，以至无法被实验者或仪器直接感觉和反应，这时可以先通过某种途径将被测量放大，然后再进行测量，这种放大被测量所用的原理和方法便称为放大法。例如，用移测显微镜观察被测对象。

3．换测法

在物理学中，许多物理量之间存在着多种效应和关系，故可有各种不同的换测方法。这也是物理实验最富有启发性和开创性的一个方面。例如，最常见的玻璃温度计，就是利用材料（水银、酒精等）在一定范围内的热膨胀与温度的线性关系，将温度测量转换为长度的测量。

4．模拟法

模拟法是指不直接研究某物理现象或物理过程，而是用与物理现象或过程相似的模型来进行研究的一种方法。许多物理量或者一些无法直接进行测量的物理量，可以通过模拟法进行测量。例如，静电场中等势线的测绘，就是用形成恒定电流的恒定电场来模拟静电场，先找出等势面，再画出电场线。

五、实验数据的处理方法

由实验测得的数据，必须经过科学的分析和处理，才能揭示出

各物理量之间的关系。我们把从获得原始数据起到得出结论为止的加工过程称为数据处理。物理实验中常用的数据处理方法有列表法、图示法和图解法等。

1．列表法

列表法是记录和处理实验数据的基本方法，也是其他实验数据处理方法的基础。将实验数据列成适当的表格，可以清楚地反映出有关物理量之间的一一对应关系，既有助于及时发现和检查实验中存在的问题，判断测量结果的合理性，又有助于分析结果，找出有关物理量之间存在的规律性。一个好的数据表可以提高数据处理的效率，减少或避免错误。

用列表法处理数据时，应遵循以下原则：

(1) 表格力求简单明了，便于分析各物理量之间的关系。

(2) 表格中应标明所记录的物理量的名称及单位。应按国家标准的规定使用表示物理量的符号。特殊情况下，若要用自定符号时，则需加以说明。

(3) 表中数据要按有效数字规则，正确地记录。

(4) 表中除列入原始测量数据外，处理过程中的一些重要的中间结果也应列入表中。

2．图示法

利用实验数据，将实验中物理量之间的函数关系用几何图线表示出来，这种方法称为图示法。实验图线不仅能简明、直观、形象地显示物理量之间的关系，而且有助于我们研究物理量之间的变化规律，找出定量的函数关系或得到所求的参量。同时，所作的图线还能对测量数据起到取平均值的作用，从而减小偶然误差。此外，还可以作出仪器的校正曲线，使实验结果更加准确。因此图示法不仅是一个数据处理方法，而且是实验方法中的一个不可分割的部分。

应当指出，实验作图不是示意图，而是要用图来表达从实验中得到的物理量之间的关系，同时还要反映出测量的精密程度，因而

作图时必须遵循一定的程序及规则。

3．图解法

根据已经作好的图线，应用解析的方法，求出对应的函数和有关参量，这种方法称为图解法。当实验图线是直线时，采用此法就更为方便。

六、测量与误差

1．测量

在物理实验中，不仅要定性地观察物理现象，而且要定量地测量物理量的大小。从测量方法上可将测量分为两类。

(1) 直接测量　直接用计量仪器读出待测值的测量称为直接测量。例如，用游标卡尺测得某金属圆柱体的高 $h=25.00$ mm，用物理天平测得其质量 $m=95.20$ g。这些由直接测量获得的未经任何处理的数据称为原始数据。

(2) 间接测量　根据待测物理量和某几个直接测得物理量之间的函数关系求出待测物理量的测量称为间接测量。例如，测量金属圆柱体的密度时，先测量圆柱体的直径 d、高度 h 和质量 m，再由密度的计算公式 $\rho=\dfrac{m}{V}=\dfrac{m}{\pi(d/2)^2h}=\dfrac{4m}{\pi d^2h}$，便可计算出金属圆柱体的密度。可见，直接测量是间接测量的基础。实验中应正确、完整地记录原始数据。物理实验中，许多物理量的测量是间接测量。

2．误差的概念

人们所测的物理量，总有个客观的真实量值，待测物理量的真正大小叫做真值。但在测量中，由于仪器、测量方法、环境变化和观察者本身观察能力的差异，导致测量值与真值之间存在差值，这个差值就叫做误差。

3．误差的分类

需要全本请访问 www.ertongbook.com

(1) 系统误差　由于仪器有缺陷(如零点未调好,刻度不准等),实验方法不完善,个人观测时的偏向(读数总是偏大或偏小)以及环境的变化(如压强、温度等变化的影响)等原因,引起多次测量结果总是偏大或偏小,这种误差称为系统误差。

(2) 偶然误差　排除了系统误差,仍然存在着测量结果时而偏大时而偏小的情况,这种误差叫做偶然误差。偶然误差是由于某些偶然的或不确定的因素所引起的,特点是:各次测量的结果不一致,有时偏大,有时偏小,且偏大和偏小的机会是均等的。实验误差理论表明,对某一待测量进行多次测量,取其平均值作为测量结果,就会大大减小偶然误差,使实验结果更接近真实值。

4. 误差的表示

(1) 绝对误差　由于误差不可能完全避免,所以测量值与真实值之间总有一个差值,这个差值的绝对值叫做绝对误差。但真值是无法测得的,而被人们公认的精确测量值比较接近于真值,所以我们就用公认值或多次测量的算术平均值代替真值求绝对误差,用 A 表示公认值(或多次测量的算术平均值,N 表示测量值),则绝对误差 ΔN 为

$$\Delta N = |N - A|$$

例如,铁的密度公认值为 $7.9\times 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$,如果测量值为 $7.7\times 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$,则测量的绝对误差为

$$\Delta N = |N - A| = |7.7\times 10^3\ \mathrm{kg/m^3} - 7.9\times 10^3\ \mathrm{kg/m^3}|$$

$$= 0.2\times 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$$

(2) 相对误差　仅看绝对误差的大小还不能正确评价一个测量结果的优劣,还要看测量值本身的大小。因此,我们就用绝对误差与公认值(或平均值)的比 $\Delta N/A$ 来表示实验的准确程度,这就叫做相对误差。一般用百分比来表示,又叫做百分误差。例如,测量一个物体的长度 $l_1 = 23.00$ cm,绝对误差 $\Delta l_1 = 0.10$ cm,其相对误差为

$$\frac{\Delta N_1}{A_1} = \frac{0.10\ \text{cm}}{23.0\ \text{cm}} \times 100\% = 0.43\%$$

当测量另一个物体的长度 $l_2 = 2.30$ cm 时，绝对误差 $\Delta l_2 = 0.10$ cm，其相对误差为

$$\frac{\Delta N_2}{A_2} = \frac{0.10\ \text{cm}}{2.30\ \text{cm}} \times 100\% = 4.3\%$$

两次测量，虽然绝对误差相同，但后者的相对误差比前者大 10 倍，相比之下，前者的测量结果比后者的测量结果要准确得多。

在实验过程中，系统误差可以设法消除（如选用精密仪器、改进实验方法等）或对测量结果进行修正。偶然误差却不能完全避免，但可以设法减小。因此，偶然误差对测量结果的准确程度起决定作用。同学们在今后实验中，应设法减少误差以保证实验准确度。

七、实验中的有效数字

1．有效数字

测量的精确程度，取决于仪器的精密程度，仪器的最小刻度所反映的量值越小，测量就越精确。由最小刻度线直接读出的数是准确的、可靠的，叫做可靠数字。但是被测量值往往不是最小刻度的整数倍，而落在两条刻度线之间。这时我们可以把最小刻度的间距，凭肉眼分成几个等分，估计读数所占的份数，然后把这一位数读出，由于这一位数是估读的，是不可靠的，所以叫做可疑数字。

估读出来的可疑数字连同前几位可靠数字，在测量中都是有效的，叫做有效数字。例如，用米尺测量的校徽长度是 46.1 mm 或 46.2 mm，由于米尺的最小刻度是毫米，所以前二位是可靠数字，最后一位是可疑数字。因此这个测量结果是三位有效数字。如果用游标卡尺测量该校徽，测量出的长度是 46.16 mm，说明表示这个测量结果有四位有效数字。

2．有效数字位数的确定

(1) 一切非零数字都是有效数字。如 36.8 是三位有效数字。

(2) 在非零数字后面的“0”是有效的，它们都是有效数字。如测量某种型号的漆包线的直径是 0.900 mm，它表示测量结果有三位有效数字。如果写成 0.90 mm，就把原来的三位有效数字表示成二位有效数字，就降低了测量的精度。可见，数据最后的“0”既不能随意增加，也不能随意略去。

(3) 在第一个非零数字前面的零不是有效数字，它仅和单位的选取有关，不表示有效数字的位数。如氦－氖激光器发出的红色激光波长是

$$632.8\ \text{nm} = 0.000\ 000\ 63\ 28\ \text{m}$$

应该注意的是，在单位变换时，有效数字的位数要保持不变。如 302 m 可写成 3.02×10^{2} m。如果以毫米作单位时，可写作 3.02×10^{5} mm。如写成302 000 mm，有效数字就变成了七位，这就不对了。

间接测量中有效数字位数的确定以及有效数字的计算比较复杂，本书不作详细介绍。在做物理作业时，如果没有特别指明，可以不按有效数字的运算规则去做，通常在计算结果中取 2～3 位有效数字就可以了。

第一篇　常用物理仪器简介

一、游 标 卡 尺

测量物体的长度要精确到 0.1 mm 以上时,用普通的米尺进行测量是不行的,需要更加精密的仪器。游标卡尺就是测量长度的精密工具之一,它可以用来测量物体的长度、深度、内径和外径。下面对游标卡尺作简单介绍。

1. 游标卡尺的构造和精度

测量长度所使用的游标卡尺是由一根主尺和一根套在主尺上可以沿主尺滑动的游标组成,如图 1.1 所示。主尺和普通米尺一样,最小分格的长度为 1 mm。游标上有 50 个小格,但这 50 个小格的长度仅有主尺上 49 个小格那么长,所以游标上每小格长度是(49/50) mm = 0.98 mm。由于主尺上每小格长度为 1 mm,游标上每小格长度为 0.98 mm,所以它们之差为 0.02 mm,这一差值就叫做游标卡尺的精度。常用游标卡尺的精度有 0.1 mm、0.05 mm 和 0.02 mm 等几种(前两种游标的刻度线分别为 10 条和 20 条)。下面以精度为 0.02 mm 的游标卡尺为例介绍它的使用方法。

2. 游标卡尺的使用

(1) 使用前,先将游标与主尺的长脚合拢,这时它们的“0”刻度线应对齐,否则表明游标尺已磨损。

(2) 测量时,左手持待测物,右手持游标卡尺将待测物夹于游标卡尺的刀口间(不要放在凹处),再读数。

(3) 读数的方法是:先读主尺上的整数部分(以“mm”为单

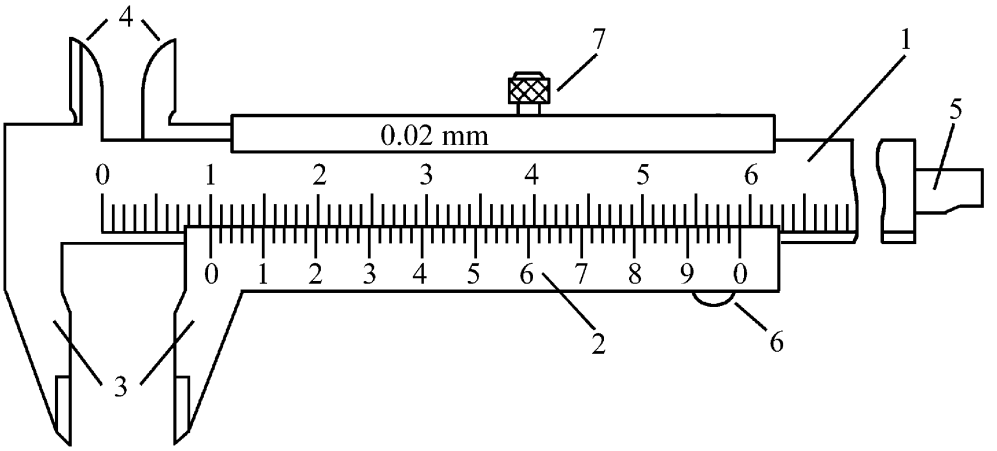

图 1.1

1. 主尺　2. 游标　3. 外卡脚　4. 内卡脚　5. 探条　6. 推钮　7. 锁紧螺丝

位), 再读游标上的小数部分。

先读主尺上的读数: 读出游标“0”刻度线左边最近的主尺上的整数部分 l_0 (以“mm”为单位), 如图 1.2 所示。

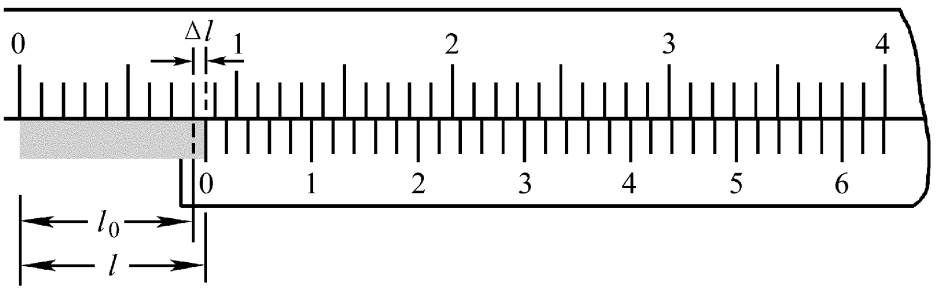

图 1.2

再读游标上的读数: 寻找游标上某一根与主尺上某一刻度线对齐的第 n 条刻度线, 以“mm”为单位时,“$n\times$ 精度”就是测量值的小数部分。

$$\text{测量值} = \text{主尺读数} + \text{游标读数}$$

$$l = l_0 + \Delta l = l_0 + n\times \text{精度}$$

例如, 用游标卡尺测某物体的长度, 如图 1.2 所示, 先读游标尺“0”刻度线左边主尺上的整数部分 $l_0 = 8$ mm, 然后看游标上哪一根刻度线与主尺上的刻度线对齐, 从图中可以看出第 30 根刻度线与主尺对齐(不要管主尺上是哪一根刻度线), 因此, 被测物体

的长度为

$$l = l_0 + \Delta l = 8\ \text{mm} + 30\times\ 0.02\ \text{mm} = 8.60\ \text{mm}$$

为什么这样读数呢？以精度 0.02 mm 的游标尺为例，它主尺上最小分格的长度为 1 mm，而游标上 50 格的总长度是 49 mm，每根刻度线间隔长 0.98 mm。当游标的“0”刻度线与主尺的“0”刻度线对齐时，游标上第 1 根刻度线在主尺第 1 根刻度线的左方，两线位置相差 $\Delta l = 1.00\ \text{mm} - 0.98\ \text{mm} = 0.02\ \text{mm}$；同理，游标上第 2 根刻度线在主尺第 2 根刻度线左方，两线位置相差 0.04 mm 等。若在两长脚间放一张 0.02 mm 厚的薄纸，游标就向右移 0.02 mm，于是游标的第 1 根刻度线将与主尺上的刻度线对齐；若纸厚 0.04 mm，则游标的第 2 根刻度线将与主尺上的刻度线对齐。反之，若游标上的第 3 根刻度线能与主尺上的刻度线对齐，纸厚就是 0.06 mm。

若游标的“0”刻度线恰好与主尺上第 N 根刻度线对齐，表示待测物体的长度恰好为 N mm，这时不需要再读游标上的小数部分，只要在小数点后面加两个零（表示有效数字）。如图 1.3 所示，游标的“0”刻度线恰好与主尺上第 25 根刻度线对齐，所以被测物体的长度为 25.00 mm。

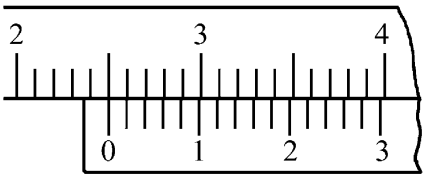

图 1.3

若游标的“0”刻度线在主尺第 N 根刻度线右边一些，表明待测物体的长度比 N mm 多一些，多的部分（小数部分）可从游标上读出来。读数时，游标上究竟哪根刻度线与主尺上的刻度线对齐是靠估计的，所以读出的最后一位数字是可疑数字。

精度为 0.1 mm、0.05 mm 的游标卡尺的使用方法同精度为 0.02 mm 的游标卡尺的使用方法一样。

需要全本请访问 www.ertongbook.com