■ 大学公共课系列教材

普通物理实验

PUTONG
WULI SHIYAN

DAXUE GONGGONGKE XILIE JIAOCAI

陶淑芬　李　锐　晏翠琼◎主　编

北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

■ 大学公共课系列教材

普通物理实验

PUTONG
WULI SHIYAN

主　编◎陶淑芬　李　锐　晏翠琼
副主编◎岳　莉
编　委◎粟　琼　陶　昌　戴普明
陈莉娟　孙维先

北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理实验/陶淑芬，李锐，晏翠琼主编. —北京：北京师范大学出版社，2010.8
ISBN 978-7-303-11446-7

Ⅰ. ①普… Ⅱ. ①陶… ②李… ③晏… Ⅲ. ①普通物理学—实验—高等学校—教材 Ⅳ. ①04—33

中国版本图书馆CIP数据核字（2010）第162178号

营销中心电话　010-58802181 58808006
北师大出版社高等教育分社网　http://gaojiao.bnup.com.cn
电子信箱　beishida168@126.com

出版发行：北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn
北京新街口外大街19号
邮政编码：100875
印　　刷：中青印刷厂
经　　销：全国新华书店
开　　本：170 mm × 230 mm
印　　张：11.75
字　　数：200千字
版　　次：2010年8月第1版
印　　次：2010年8月第1次印刷
定　　价：19.00元

策划编辑：范　林　　责任编辑：范　林
美术编辑：毛　佳　　装帧设计：天泽润
责任校对：李　菡　　责任印制：李　啸

版权所有　侵权必究

反盗版、侵权举报电话：010—58800697
北京读者服务部电话：010—58808104
外埠邮购电话：010—58808083
本书如有印装质量问题，请与印制管理部联系调换。
印制管理部电话：010—58800825

前　言

本书是在自编自用普通物理实验讲义的基础上，经过三年的教学试用和不断修改完善而成的，是曲靖师范学院物理与电子工程学院长期从事实验教学的教师和实验技术人员的教学实践的结晶。书中选择了 26 个涵盖力学、热学、电磁学和光学内容的基础物理实验项目，每个实验项目包括实验目的、实验仪器、实验原理、仪器介绍、实验内容与步骤、注意事项、数据处理、实验记录和思考与讨论。内容紧密结合教学实际和学生实验报告要求，图文并茂，为学生预习、复习和实验操作提供了一本实用、具体的指导书。

本书由陶淑芬负责全书的审稿和光学部分的编写工作，李锐负责力学、热学部分的编写工作，晏翠琼负责电磁学部分的编写工作，陶昌、戴普明、陈莉娟、孙维先和凯里学院的岳莉、粟琼老师参与了部分文稿的修订和编写工作。

本书可作为理工科物理类专业的基础物理实验、非物理类各专业普通物理实验课程的教材和参考书。

编者

2010 年 6 月

目　录

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

绪 论

一、普通物理实验课的目的

物理学是一门实验科学。物理规律的发现和物理理论的建立，都依赖于物理实验，并受到实验的检验。即使理论研究可以通过逻辑推理等其他方法得到新的理论，但最终理论还要接受实验的验证，如果新理论与实验结果不一致，就需要进行修正，甚至被否定。例如，落体运动是人们司空见惯的物理现象。但在16世纪以前，由于缺乏实验手段而被亚里士多德的错误论点(即物体越重下落速度越快)统治了1 800多年。直到伽利略做了科学史上著名的比萨斜塔实验，才发现了落体运动的规律。因此，物理实验在物理学的创立和发展，乃至自然科学及技术的发展中占有十分重要的地位。

物理实验课程和物理理论课程具有同等重要的地位。物理实验课是对学生进行实验教育的入门课程，有着丰富而广泛的内容，在培养学生科学实验能力的全过程中，起着重要的基础作用。本课程的培养目的是：

(1)培养学生实事求是的科学态度、严谨踏实的作风和勇于探索、坚韧不拔的钻研精神以及遵守纪律、团结协作、爱护公物的优良品质。

(2)通过对物理实验现象的观测和分析，学习运用理论指导实践、分析和解决实验中问题的方法，从理论和实际的结合上加深理论的理解。

(3)培养学生从事科学实验的初步能力。包括通过阅读教材或资料，能概括出实验原理和方法的要点；正确使用基本实验仪器，掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能；正确记录和处理数据，分析实验结果和撰写实验报告；自行设计和完成某些不太复杂的实验任务，等等。

二、物理实验课的基本环节

实验教学的过程实际上是在教师指导下由学生通过阅读教材及必要的参考书，独立思考、独立操作而完成的。实验课的教学环节主要分为以下三个阶段：

1. 实验预习

课前预习是完成和做好实验的前提。通过预习，重点搞清本次实验的目的、要求、原理(包含理论原理和实验原理)，以及所用仪器的性能和操作规程，明确实验方法和步骤等内容，在此基础上填写预习报告。预习一般在课外

进行，也可以到实验室结合仪器装置进行预习。预习报告的内容主要包括：实验名称、目的、所用仪器、实验原理和内容，并设计绘出测量数据记录表格。实验原理的填写，要根据自己的理解，用简明扼要的语言阐述实验所依据的原理和必要的公式，以及重要的原理图等，切不可简单照抄。

2. 实验操作

进入实验室后，要自觉遵守实验室的规则，认真听取教师的指导和提出的要求。操作前必须先认识和熟悉仪器，了解仪器的使用方法及注意事项，然后再进行正确的安装和调试，在教师许可下方可开始实验。实验时要按照实验步骤进行，能较好地控制实验的物理过程和物理现象，认真仔细地观察实验现象，正确记录实验数据，不能抄袭和捏造数据。实验中若有疑问或者仪器出现故障，要及时请教指导教师，切勿自行随意处理。实验完毕后，将实验数据请教师审阅、签字，并将仪器整理复原(养成良好的实验习惯)，在教师同意的情况下，才能离开实验室。

3. 实验报告

实验报告是对实验的分析、总结、巩固和深化的过程，要独立完成，切勿涂改数据和抄袭报告。依据原始数据记录，对测量数据进行处理和分析，从而得出实验结果及对实验结果进行评价。实验报告的填写力求简明扼要、字迹清楚、符号和图表规范。

实验报告包括以下内容：

(1)实验名称：写明实验题目、日期以及实验者的基本信息。

(2)实验目的：简述实验所要达到的目的。

(3)实验仪器：写明仪器的名称、规格和型号等。

(4)实验原理和内容：简明扼要地阐述实验原理，力争图文并茂，写出实验原理、公式及其适用条件；根据原理和仪器规程，写出实验步骤、方法及测量条件。

(5)实验原始数据：在实验过程中记录的与实验有关的环境条件和标明物理量单位的测量数据。需用钢笔记录，不得涂改(如出错，可在错误数据上划一条横线，在旁边的空白处另记)。

(6)实验数据处理：采用合适的方法，进行数据的整理和计算(包括平均值和误差处理，写出主要的计算公式和必要的计算步骤)、图表绘制以及实验结果的正确表述。

(7)分析讨论：对实验结果进行分析和讨论，包括对实验结果的可靠性分

析，实验中发现的现象的解释，实验装置和实验方法存在的问题及改进的意见等，并完成思考题的解答。

三、测量的基本概念

1. 测量的含义

测量是以确定被测对象量值为目的的全部操作，它是物理实验的基础。通常认为测量就是将被测量对象与已确知同类量值的仪器相比较的实验过程。

实验过程中使用的测量仪器是指用以测出被测对象量值的所有器具，如游标卡尺、物理天平、秒表、万用表、温度计等。由于测量目的的不同对仪器准确程度的要求也不同，比如称量黄金饰物的天平需准确到千分之一克，而日常生活中称量粮食的秤相差几克也无关紧要。实验仪器的选择和使用都会对实验结果产生影响，其最基本的是测量范围和准确度等级，一般的原则是在满足测量要求的条件下，尽量选用适当范围和准确度相对较低的仪器，以减小仪器的损耗和测量的成本。

2. 测量的分类

在物理实验中会遇到各种类型的测量，可以从不同的角度对测量进行分类：按获得数据的方法，可以分为直接测量和间接测量；按测量的条件，可以分为等精度测量和非等精度测量。

(1)直接测量和间接测量

直接测量是指被测对象直接和仪器比较，得到的被测对象的相关量值的测量。例如，用游标卡尺测量长度，用秒表测量时间，用天平测量质量，用万用电表测量电压、电流、电阻，用温度计测量温度等。

间接测量是指被测对象的量值和一个或几个直接测量的量值之间具有可用公式描述的函数关系，可以通过测量出直接测量时的量进行函数关系计算，得出被测对象量值的测量。如圆柱体体积的测量。

(2)等精度测量和非等精度测量

在测量过程中，影响测量结果的各种条件不发生改变的多次测量叫做等精度测量；而在不同条件下进行的测量称为非等精度测量。一般非等精度测量是在科学研究、重要的精密测量等工作中，为了获得更可靠的测量结果而采用的，数据处理比较复杂。本书要求的都是等精度测量。

3. 测量的四要素

测量对象、测量单位、测量方法和测量不确定度被称为测量过程的四

要素。

四、测量与误差

1. 真值

在某一环境条件下，被测量对象量值存在一个客观值，这个客观值称为真值。真值的大小不依人的意志为转移，但受环境条件的影响。

2. 绝对误差和相对误差

在物理实验中，真值是一个理想概念，而测量值和真值之间普遍存在一定差距，这个差距称为误差。由于误差是普遍存在于测量过程之中的，真值一般无从得知，因此一般情况下不能计算误差。只在少数情况下，可以用准确度较高的测量值来作为量的约定真值，这时才能计算误差。

(1)绝对误差

如果用 R 表示真值，x_i 表示测量值，那么 x_i 与 R 之差，就称为绝对误差，这里用 ε 表示，其定义式如下：

$$\varepsilon = x_i - R \tag{0-1}$$

(2)相对误差

绝对误差能够反映对同一测量的测量效果的好与坏，如对质量约为 1 kg 的物体进行测量，绝对误差为 5 g 的就比为 10 g 的测量效果好；但对不同的被测量就难于进行评价，如测量质量约为 1 kg 的物体的绝对误差是 10 g，测量质量约为 10 g 的物体的绝对误差为 1 g，用绝对误差就不能比较测量效果了。因此引入相对误差的概念，这里用 E_r 表示相对误差，其定义式如下：

$$E_r = \frac{\varepsilon}{R} \times 100\% \tag{0-2}$$

3. 误差的来源

误差贯穿于任何实验测量中，对误差进行分析，了解误差的来源是很有必要的。误差的来源主要有如下几个方面：

(1)仪器误差

仪器在设计、选材、加工、装配过程、使用环境、使用条件以及使用操作等方面都有可能造成误差，这种误差叫做仪器误差。例如，螺旋测微器零点不准；物理天平未调平等。

(2)方法误差

实验理论的不完善，所依据的公式存在近似，或实验方法的不同而导致的

误差。例如，单摆测量重力加速度实验中，理论要求摆线无质量，摆球体积趋于零，摆角趋于零，实验时因做不到而带来了误差；伏安法测电阻实验，不管是采用内接法还是外接法，电表内阻的影响都会带来误差。

(3)环境误差

环境因素的变化，如温度、湿度、气压、光照、振动、电磁干扰、空气流动等与理论要求的标准不一致，甚至其在空间上的梯度随时间变化，引起测量仪器的量值发生变化、仪器失灵等改变产生的误差。例如，米尺的膨胀系数。

(4)人为误差

由于实验测量者的生理感觉器官的差异，对实验操作的熟练程度，甚至性格、习惯以及当时的心理和生理因素都有可能导致测量结果的不同，而产生误差。例如，使用秒表计时的时候，有的人提前，有的人落后等。

4. 误差的分类

根据产生误差的原因和误差所表现出的性质，将误差分为两类：

(1)系统误差

在同一条件下，反复测量同一物理量时，误差的绝对值和符号保持不变，或随着测量条件的变化而有规律的变化的误差，称为系统误差。

系统误差具有恒定性的特点，可以通过理论分析法、对比测量法和数据分析法发现系统误差，系统误差不可能通过多次测量来减小或消除，实验测量中对待系统误差的主要做法有：

①抵消

可以通过在实验中增加附加物，或者交换测量等方法使之产生和系统误差相抵消的作用。例如，天平的交换称衡；抵消滑轮阻力附加质量等。

②减小

在设计实验方案时选择适当条件，减小要处理的系统误差的影响。例如，单摆用密度大的金属球作锤以减小空气阻力的作用。

③修正

计算出要处理的系统误差值，取其相反数作为修正值，加到测量结果上，或在计算公式中加入修正项去消除该项系统误差。例如，仪器的零值误差均采取修正值去处理。

(2)偶然误差

在同一条件下，反复测量同一物理量，测量结果不尽相同，其值时大时小、时正时负，不可预测，完全是随机变化的误差，称为偶然误差，也叫做随机误差。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

偶然误差具有随机性的特点，总体服从一定的统计规律，可以通过多次测量的方法来减小和消除偶然误差。

①偶然误差的正态分布

在相同的条件下，对同一物理量 x_i 进行多次重复测量，测量结果的值总是在其真值 R 的附近，越靠近 R，出现的概率越大。大量的实验事实证明，在测量次数足够多时，x_i 的出现服从一定的统计规律——正态分布规律。这种统计规律具有以下特性：

a. 单峰性。测量值与真值之差的绝对值小的出现的机会（概率）大，差值绝对值大的出现的机会（概率）小。

b. 对称性。各测量值大于真值 R 和小于 R 的机会（概率）相等，即测量值与真值之差的绝对值在 R 两侧分布的概率相等。

c. 有界性。与真值之差很大的测量值出现的概率趋于零。

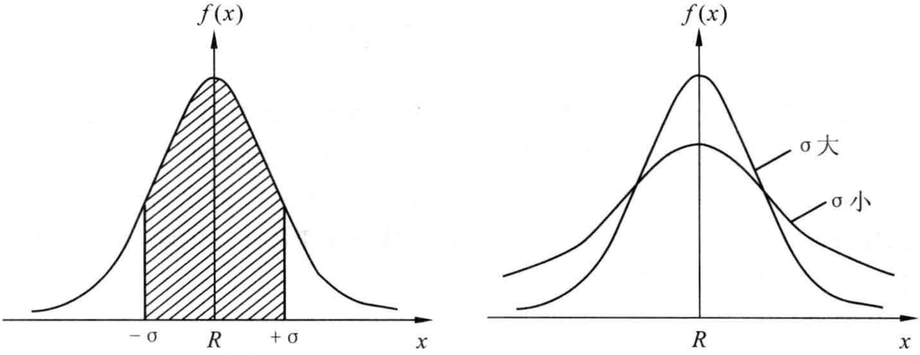


图 0-1　偶然误差的正态分布

正态分布的这些性质可在图 0-1 正态分布曲线上看得非常清楚。该曲线横坐标为测量数据 x，纵坐标为测量数据的概率密度函数 $f(x)$。它表示某测量值出现在 R 附近，单位测量值区间内的概率。

根据统计理论可以证明，当测量次数 $n\to\infty$ 时，测量值的概率密度分布函数 $f(x)$ 为

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\mathrm{e}^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}} \tag{0-3}$$

式中，ε 为测量值的误差；σ 是一个取决于具体测量条件的常数，称为标准误差[参见式(0-7)]。

对式(0-3)积分，可以计算出任一测量数据落在$(-\varepsilon,\ \varepsilon)$区间的概率为 $p(\varepsilon)$，则

$$p(\varepsilon) = 2\int_0^{+\varepsilon} f(x)\mathrm{d}x = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_0^{+\varepsilon}\left(\mathrm{e}^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}}\right)\mathrm{d}\varepsilon \qquad (0-4)$$

式(0－4)称为概率积分公式。因为对于每一具体测量所要研究的区间(0，$+\varepsilon$)各不相同，所以必须就每一具体测量分别计算此积分。但是此概率和标准误差的大小密切相关，如果把区间的范围取为标准误差的若干倍，将可得出具有普遍意义的概率积分公式。

设 $\varepsilon = Z\sigma$，则某次测定误差落在($-\varepsilon$，ε)区间的概率等于 $|\varepsilon| \leqslant Z\sigma$ 的概率，亦即 $\left|\frac{\varepsilon}{\sigma}\right| \leqslant Z$ 的概率，则

$$p(\varepsilon) = p\left\{\left|\frac{\varepsilon}{\sigma}\right| \leqslant Z\right\} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}}\int_0^{Z}\left(\mathrm{e}^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right)^2}\right)\mathrm{d}\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) \qquad (0-5)$$

令 $\frac{\varepsilon}{\sigma} = t$，则

$$p\left\{\left|\frac{\varepsilon}{\sigma}\right| \leqslant Z\right\} = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\int_0^{Z}\left(\mathrm{e}^{-\frac{t^2}{2}}\right)\mathrm{d}t \qquad (0-6)$$

式(0－6)是具有普遍意义的概率积分公式。表 0-1 给出用式(0－6)计算的一些结果。

表 0-1 概率积分表

Z	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.0	0.000 0	0.079 7	0.158 5	0.235 8	0.310 8	0.382 9	0.451 5	0.516 1	0.576 3	0.631 9
1.0	0.682 7	0.728 7	0.769 9	0.806 4	0.838 5	0.866 4	0.890 4	0.910 9	0.928 1	0.942 6
2.0	0.954 5	0.964 3	0.972 2	0.978 6	0.983 6	0.987 6	0.990 7	0.993 1	0.994 9	0.996 3
3.0	0.997 3	0.998 1	0.998 6	0.999 0	0.999 3	0.999 5	0.999 7	0.999 8	0.999 9	0.999 9

②测量结果的最佳近似值——算术平均值

设 n 次等精度测量，测量数据为

$$x_1，x_2，x_3，\cdots，x_n$$

每次测量的随机误差分别是

$$\Delta x_1 = x_1 - x_0$$
$$\Delta x_2 = x_2 - x_0$$
$$\vdots$$
$$\Delta x_n = x_n - x_0$$

对这些所有随机误差取平均值：

$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta x_i = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_0) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_0 = \bar{x} - x_0$$

根据随机误差的抵偿性，当 $n\to\infty$ 时，$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta x_i\to 0$，因此，$\bar{x}\to x_0$。

假如各测得值的误差只是偶然误差，而偶然误差有正有负，相加时可抵消一些，所以 n 越大，算术平均值越接近真值。因此可以用算术平均值作为被测量真值的最佳估计值。

③标准误差(均方误差)和标准偏差

标准误差(均方误差)的定义为同一条件下各测得值误差(假设系统误差已消除)平方和的平均值的平方根。

设 n 个测得值的误差分别为 ε_1，ε_2，ε_3，…，ε_n，则标准误差 σ 为

$$\sigma=\sqrt{\frac{\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2+\cdots+\varepsilon_n^2}{n}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i^2}{n}} \tag{0-7}$$

按照数理统计，对于服从正态分布的任一个测得值的误差 ε_i 落在 $(-\sigma, \sigma)$ 区间的概率为 68.3%，落在 $(-2\sigma, 2\sigma)$ 区间的概率为 95.5%，落在 $(-3\sigma, 3\sigma)$ 区间内的概率为 99.7%。标准误差的大小表示在某一概率下偶然误差分布的区间。

实际上由于真值是未知的，误差也就无法求出，所以标准误差只有理论上的意义。实验时用平均值作为真值的最佳估计值，因而可以用平均值去参与标准误差的估计，常使用如下的白塞尔公式去估计标准误差：

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} \tag{0-8}$$

式中，测量值与平均值之差 $(x_i-\bar{x})$，称为测量值 x_i 的残差，它是可以求出的。白塞尔公式是用残差去求标准误差的估计值 S，称此估计值为标准偏差。

④算术平均值的标准误差和标准偏差

算术平均值的标准误差 $\sigma(\bar{x})$ 是一次测量值标准误差 σ 的 $\sqrt{n}$ 分之一，即

$$\sigma(\bar{x})=\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

式中，n 为测量值个数。算术平均值标准误差的估计值为算术平均值标准偏差 $S(\bar{x})$，同样成立：

$$S(\bar{x})=\frac{S}{\sqrt{n}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n(n-1)}} \tag{0-9}$$

这里说明一点，任意一次测量值的标准偏差 S 与平均值的标准偏差 $S(\bar{x})$ 的意义是不同的。S 是表示多次测量中每次测量值的“分散”程度，S 值小表示每次测量值很接近，反之则比较分散，它随测量次数 n 的增加变化很慢；$S(\bar{x})$ 表示平均值偏离真值的多少，其值小则更接近真值，大则远离真值，它的大小随测量次数 n 的增加收敛得很快，这也是增加测量次数可以减小偶然误差的一个体现。

⑤测量次数 n 的作用

增加测量次数 n，可以使平均值误差的绝对值减小，即平均值的可靠性增加了。所以一般在测量时都要进行重复测量。增加测量次数虽然对平均值是有益的，但也不是次数越多越好，因为 n 增大只是对减小偶然误差有作用，对系统误差则无影响，而测量误差是偶然误差和系统误差之和，所以增加测量次数对控制测量误差的价值是有限的；另外，测量次数过多，测量者容易疲劳，测量条件也可能出现不稳定，还有可能出现增加偶然误差的趋势。

综上所述，增加测量次数，虽然可以提高平均值的可靠程度，但是作用有限。实际上，只有改进实验方法和仪器，才能从根本上改善测量的结果。在科研工作中的测量次数可以多一些，而在学生实验中取 4～10 次即可。

⑥坏值的剔除

实验中对一个物理量进行多次测量，出于某种原因，有时会混入少量坏值，这些坏值与正常的测量数据相差很大，所以必须剔除，否则会影响测量的准确度。剔除坏值的常用方法就是拉依达准则。

如果置信限取 σ，那么任一个测得值 x_i 落在$(-\sigma,\ \sigma)$区间的概率为 68.3％；如果置信限取 2σ 或 3σ，则在对应范围内出现的概率就是 95.5％和 99.7％。根据这种关系，当置信限取 3σ 时，就表示多次测量中任意一次测量值不在$(-3\sigma,\ 3\sigma)$范围内的可能性只有 0.3％。也就是说，某一次测量值不在 3σ 范围内就意味着这个测量值是坏值，应当剔除。用 3σ 作为剔除坏值的判断方法称为拉依达准则。其中 3σ 称为极限误差 Δlim，可表示为

$$\Delta\text{lim}=3\sigma$$

需要注意的是，拉依达准则是建立在测量次数 $n\to\infty$ 的前提下的，当测量次数较少时，3σ 判断不准确，特别是 $n<10$ 时不能用该准则剔除坏值。

实际上，上述准则偏宽，另外又不考虑数据个数的影响，在正式处理数据时一般不使用。

设 n 次测量的标准误差为 σ，数值落在 $\bar{x}\pm c_n\sigma$ 内的概率为 $1-\frac{1}{2n}$。如某一

数值未在此区间可认为是坏值而剔除，此准则称为肖维涅准则，c_n为此准则系数(见表 0-2)

表 0-2　肖维涅准则系数 c_n

n	c_n	n	c_n	n	c_n
5	1.65	14	2.10	23	2.30
6	1.73	15	2.13	24	2.31
7	1.80	16	2.15	25	2.33
8	1.86	17	2.17	30	2.39
9	1.92	18	2.20	40	2.49
10	1.96	19	2.22	50	2.58
11	2.00	20	2.24	75	2.71
12	2.03	21	2.26	100	2.81
13	2.07	22	2.28	200	3.02

⑦单次测量值标准偏差的估计

单个测量值无法用公式计算标准偏差，一般是估计它的极限误差 δ，估计时既要分析，也要有经验。通常，当测量的偶然误差可能比较小时，可取仪器的分度值为极限误差；当测量的偶然误差可能比较大时，就要取仪器分度值的几倍为极限误差。

5. 精密度、正确度和准确度

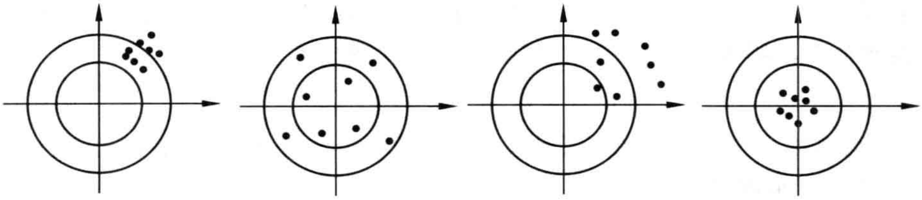
精密度是指重复测量所得结果相互接近(或离散)的程度。它的高低反映偶然误差的大小，即精密度越高，数据越接近，偶然误差就越小；反之，偶然误差就越大。

正确度是指测量值或实验结果与真值的符合程度。它的高低反映系统误差的大小，即正确度越高，测量值越接近真值，系统误差就越小；反之，系统误差就越大。

准确度(又称精确度)是精密度与正确度的综合反映。当偶然误差小到可以不计时，准确度等于正确度；当系统误差小到可忽略或得到修正消除时，准确度等于精密度。两者都高，准确度就高；两者之一低或者两者都低，则准确度低。

现以射击打靶的弹着点分布为例，形象地说明以上三个术语的意义。如图 0-2所示，其中图 0-2(a)表示精密度高而正确度低；图 0-2(b)表示正确度高而精密度低；图 0-2(c)表示精密度和正确度均低，即准确度低；图 0-2(d)表示

精密度和正确度均高，即准确度高。通常所说的“精度”含义不明确，应尽量避免使用。



(a)精密度高，正确度低　(b)正确度高，精密度低　(c)精密度和正确度均低　(d)精密度和正确度均高

图 0-2　精密度、正确度和准确度示意图

五、不确定度

1. 不确定度的定义

由于误差的存在，使得测量结果具有一定程度的不确定性。所以对某一物理量进行测量，我们只知道测量值 x 与真值 x_0 之差的绝对值以一定概率分布在某一数值 u 范围内，用公式表示为

$$|x-x_0|\leqslant u（置信概率为 P）$$

其中，u 值可以通过一定的方法进行估算，称为不确定度。

1992 年 10 月 1 日，我国开始执行国家计量技术规范 JJG1027－1991《测量误差及数据处理技术规范(试行)》，规定测量结果的最终表示形式用不确定度或相对不确定度表示：

$$x=\bar{x}\pm u_x（单位）(P=?) \tag{0-10}$$

$$E_x=\frac{u_x}{\bar{x}}\times 100\% \tag{0-11}$$

注：式(0－10)中的 P 为置信概率，不做扩展时为 68.3%，进行扩展时置信概率的数值参阅偶然误差的正态分布一节。

对等精度多次测量而言，测量的结果应包括多次测量的算术平均值、不确定度和相对不确定度。

2. 不确定度的分量

由于误差的来源很多，测量结果的不确定度一般也包含几个分量。在修正了可定系统误差之后，将直接测量的不确定度分为两类。

(1)A 类不确定度

凡是可以通过统计方法来计算不确定度的称为 A 类不确定度。由于这一

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com