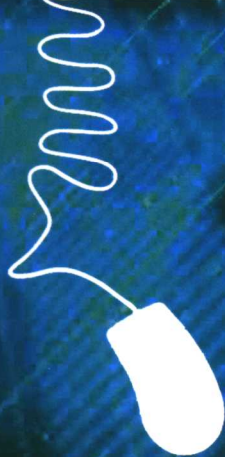


WULI SHIYAN SHUJU DE JISUANJI CHULI

物理实验数据 的计算机处理

钱 萍 申 江 主编



化学工业出版社

物理实验数据的 计算机处理

钱 萍 申 江 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是在物理实验课程多年教学实践的基础上编写的。全书包括物理实验数据的处理方法、物理实验数据计算机处理示例及程序、Excel 数据处理软件简介、Origin 数据处理软件简介等内容,给出了设计好的 Excel 程序及部分 C 语言程序。期望通过本书的出版能够有利于物理实验教学质量和科学实验素养的提高,并在计算机的程序设计过程中,启迪智力,锻炼思维,增进科研能力。

本书可作为高等学校工科各专业的教科书,也可供文理科有关专业和从事实验物理的科技人员选用。

图书在版编目(CIP)数据

物理实验数据的计算机处理/钱萍,申江主编. —北京:化学工业出版社,2007.2
ISBN 978-7-5025-9598-2

I. 物… II. ①钱…②申… III. 计算机应用-物理学-实验数据-数据处理 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 023264 号

责任编辑:唐旭华 王丽娜

文字编辑:郝英华

责任校对:吴 静

装帧设计:韩 飞

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:化学工业出版社印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张 4 $\frac{3}{4}$ 字数 114 千字

2007 年 3 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:10.00 元

版权所有 违者必究

前 言

普通物理实验是学生进入高校以后接触的首门实验课程。按照教学大纲的要求,学生通过实验课的学习,不仅要理解实验原理的理论和学会对物理量的测量,还要学会对实验数据的正确处理,使之能够得到实验的最佳结果。实验的数据处理工作普遍被认为是烦琐、枯燥的,并被尽量回避。计算机可以使这项工作便捷和轻松,还可帮助保存重要的数据信息,便于随时使用。

本书是根据物理实验课程多年教学实践编写的。主要介绍物理实验数据的处理方法、实验数据处理示例,与数据处理有关的 Excel、Origin 基本知识,给出了部分物理实验的应用示例。本书给出的示例为一些典型的和相对复杂的 Excel 应用示例,目的是介绍这种方法,引导大家使用这种方法,从而推动实验教学质量和科学实验素养的提高,增进科研能力。

另外,通过设计好的 Excel 电子表格来辅助计算,或利用 Origin 直接进行数据统计分析,可方便地改变某不确定度分量的大小,观察合成标准不确定度或扩展不确定度的变化。据此可以在满足测量不确定度要求的条件下,去选择所用设备的准确度以及对环境条件的要求等,从而做到对测量系统的运作及测量方法的充分了解,为改进测量程序和对测量的注意事项提供依据。

Excel 和 Origin 是人们经常使用的计算或作图软件,用它们进行涉及不确定度或回归分析的有关信息处理,简单易行,值得推

荐，希望学生、教师和从事实验物理的科技人员尝试应用，定会收到事半功倍的实效。

书中 Excel、C 语言原程序的电子版可免费提供给采用本书作为教材的高等院校使用。如有需要可联系：txh@cip.com.cn。

本书由钱萍，申江主编，田慧军、刘晓来、谢超然、伦秀君、李秀海参加编写，李长江教授担任主审。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者不吝指正。

编 者

2006 年 12 月

欢迎加入化学工业出版社读者俱乐部

您可以在我们的网站 (www.cip.com.cn) 查询、购买到数千种化学、化工、机械、电气、材料、环境、生物、医药、安全、轻工等专业图书以及各类专业教材, 并可参与专业论坛讨论, 享受专业资讯服务, 享受购书优惠。欢迎您加入我们的读者俱乐部。

两种入会途径 (免费)

- ◇ 登录化学工业出版社网上书店 (www.cip.com.cn) 注册
- ◇ 填写以下会员申请表寄回 (或传真回) 化学工业出版社

四种会员级别

- ◇ 普通会员 ◇ 银卡会员 ◇ 金卡会员 ◇ VIP 会员

化学工业出版社读者俱乐部会员申请表

姓名:	性别:	学历:
邮编:	通讯地址:	
单位名称:		部门:
您从事的专业领域:		职务:
电话:		E-mail:

◆ 您希望出版社给您寄送哪些专业图书信息? (可多选)

☐ 化学 ☐ 化工 ☐ 生物 ☐ 医药 ☐ 环境 ☐ 材料 ☐ 机械 ☐ 电气 ☐ 安全 ☐ 能源 ☐ 农业
☐ 轻工 (食品/印刷/纺织/造纸) ☐ 建筑 ☐ 培训 ☐ 教材 ☐ 科普 ☐ 其他 ()

◆ 您希望多长时间给您寄一次书目信息?

☐ 每月 1 次 ☐ 每季度 1 次 ☐ 半年 1 次 ☐ 一年 1 次 ☐ 不用寄

◆ 您希望我们以哪种方式给您寄书目? ☐ 邮寄纸介质书目 ☐ E-mail 电子书目

此表可复印, 请认真填表后发传真至 **010-64519686**, 或寄信至: 北京市东城区青年湖南街 13 号化学工业出版社发行部 读者俱乐部收 (邮编 100011)

联系方法:

热线电话: 010-64518888, 64518899 E-mail: hy64518888@126.com

目 录

1 绪论	1
1.1 计算机在实验数据处理中的应用	1
1.2 物理实验的重要性	2
1.3 学习物理实验数据处理方法的意义	3
2 测量误差与数据处理	4
2.1 测量的基本概念	4
2.2 直接测量的数据处理	11
2.3 间接测量的数据处理	12
2.4 有效数字及其运算	15
2.5 实验室常用仪器的最大允许误差	18
3 物理实验数据处理的基本方法	24
3.1 列表法	24
3.2 逐差法	25
3.3 作图法	28
3.4 回归分析简介	31
4 物理实验数据计算机处理示例及程序	39
4.1 Excel 数据处理软件简介	40
4.2 Origin 数据处理软件简介	52
4.3 物理实验数据计算机处理示例	65
示例 1 静态拉伸法测量钢丝的杨氏模量	65
示例 2 液体黏滞系数与温度的关系	70
示例 3 气垫导轨上研究简谐振动	72

物理实验专题讨论之一——不确定度的有效位数与表示	77
示例 4 自组电桥测电阻	79
示例 5 固体折射率测定	81
示例 6 用菲涅尔双棱镜测波长	84
物理实验专题讨论之二——对实验结果的讨论	89
示例 7 物质密度的测量	91
示例 8 气体比热容比 (c_p/c_V) 的测定	94
示例 9 声速测量	96
示例 10 霍耳效应及其应用	98
物理实验专题讨论之三——线性拟合与一元回归	103
示例 11 不良导体导热系数的测定	106
示例 12 用扭摆法测定物体转动惯量	108
示例 13 固体线胀系数的测定	114
附录 1 物理常数表	117
附录 2 中华人民共和国法定计量单位	125
附录 3 术语的英汉对照	128
附录 4 用 C 语言处理部分物理实验数据的参考程序	131
参考文献	140

1 绪 论

1.1 计算机在实验数据处理中的应用

当今已进入计算机和信息时代，计算机已广泛地深入到各行各业，起着越来越巨大的作用。计算机具有运算速度快、体积小、可靠性高、通用性与灵活性强以及很高的性能价格比等特点，把人们带入了一个一切都离不开计算机的新时代。计算机在实验研究领域的应用——将传统的实验方法和测试手段与计算机相结合，使实验技术产生了巨大的变革，大大提高了实验的水平，给科学研究带来了新的突破。计算机在研究领域中应用的迅速发展使传统的教学实验与实际科研工作之间的差距日益增大。因此，应该将计算机这个现代化的手段运用到教与学中去，逐步改进传统的教学方法，缩小差距，适应现实发展的需要。

计算机不仅应用于仪器设备中提高精度、采集数据、模拟实验等，还可以在实验数据处理中发挥重要作用。应用计算机进行数据处理的优点是速度快，精度高，将实验数据输入装有相应软件的计算机中进行数据处理就能快速显示出数据处理的结果，直观性强，减轻人们处理数据的工作量。同时也能提高人们应用计算机处理数据的能力。例如在一些平均值、相对误差、绝对误差、标准误差、线性回归、数据统计等方面的数值计算，常用函数计算，定积分计算，拟合曲线，作图等方面都可以考虑使用计算机来处理。在具体问题中可以应用现有的软件，也可以结合具体实验练习编写一些简

单实用的小程序来满足实验中数据处理的需要。随着计算机在实验教学中地位的不断提高,灵活利用计算机在实验教学中的优点,是今后实验教学中不可忽视的一个问题。今后的实验教学,应当先从数据处理入手,逐步加强计算机在实验教学中的具体应用,为以后应用计算机进行科学实验奠定一个良好的基础。

1.2 物理实验的重要性

物理实验是理工院校学生进行科学实验基本训练的一门独立的基础课程,是学生进入大学后受到系统实验方法和实验技能训练的开端,是理工科类专业对学生进行科学实验训练的重要基础。因此,物理实验教学和物理理论教学具有同等重要的地位。

物理学是建立在实验基础上的一门自然科学学科。无论物理概念的建立还是物理规律的发现都必须以严格的科学实验为基础,并通过科学实验来证实。物理实验在物理学的发展过程中起着直接或间接的作用。例如,电磁学相继在实验的基础上建立了库仑定律、高斯定律、安培定律和法拉第定律,并建立了场的概念,最后在1865年前后由麦克斯韦在这些实验研究结论的基础上,使得电磁学的理论大厦得以完满建成。在这个理论中,麦克斯韦预言了电磁波的存在并预言光也是一种电磁波。电磁场理论把电、磁、光三个领域综合到一起,具有划时代的意义,但这在当时只能被看作是一种假说,直到二十多年后,德国的物理学家赫兹从实验中发现了电磁波并证实了它的传播速度正是光速,才使麦克斯韦的理论得到了公认。在近代物理方面,1905年爱因斯坦的光量子假说总结了光的微粒说和波动说之间的争论,能很好地解释勒纳德等人的光电效应实验结果,但是直到1916年密立根以极其严密的实验证实了爱因斯坦的光电效应之后,光的粒子性才为人们所接受。

回眸20世纪,大量事实说明,高新技术的出现和发展与基本粒子物理学、原子核物理学、原子分子物理学、光学、等离子体和

流体、凝聚态物理学以及引力、宇宙学和宇宙射线物理学等物理学领域及其交叉学科有着密切的关系。可以说，现代科学技术的高速发展是离不开物理学理论和实验的构思和方法的。

“大学物理”和“物理实验”原来是一门课程。由于历史的原因，课程的开展一直是重理论，轻实践。为了纠正重理论、轻实践的偏向，为了加强实验能力的训练，在 20 世纪 70 年代末，物理实验从原来的物理课程中分离出来，独立形成一门课程——物理实验。这两门课程关系密切，物理规律是实验事实的总结，而物理理论的正确与否需要实验来验证；实验需要理论指导，在实验过程中，通过理论的运用与现象的观测、分析，又可以加深和扩大学生对物理知识的理解。

1.3 学习物理实验数据处理方法的意义

做物理实验离不开测量。在科学研究、工程技术、工农业生产、国内外贸易、医疗卫生以及日常生活中都离不开测量。测量是为了确定被测对象的量值而进行的一组操作。这“一组操作”是指实验的全过程，既包括实验操作，也包括数据处理，直到给出测量结果。在一些重要的测量中，还要求对测量结果的质量（可信程度）给出定量的说明，因为测量结果的质量起着举足轻重的作用。例如对卫星质量或火箭燃料质量的测量，测量结果的不准有可能导致卫星发射的失败。然而由于测量设备与测量方法的不完善、测量环境的影响、测量人员能力的限制等原因，任何测量结果都不可避免地存在误差。因此，在报告实验结果时，应定量地对测量结果给出可能的误差范围，即不确定度。在进行测量过程中，通过实验操作得到测量数据，通过数据处理得到测量结果及不确定度。由此看来，学习物理实验数据处理的知识对在校学生、科技人员以及管理人员是十分必要的。

2 测量误差与数据处理

2.1 测量的基本概念

(1) 测量

测量是将待测量直接或间接地与另一个同类的已知量相比较，把后者作为计量单位，从而确定被测量是该计量单位的多少倍的物理过程。测量数据要写明数值的大小和计量单位。

例如：用钢直尺去测量某钢丝的长度，把钢直尺作为标准的长度量具，使钢丝伸直与之对齐并记录钢丝两端相应的读数之差。

(2) 测量结果

测量结果是由测量所得到的赋予被测量的值。这里的“赋予”二字，指明了测量结果不是“真值”，而只是真值的一个估计。对于直接测量来说，如果只做了单次测量，则观测值可作为测量结果；如果对同一物理量做了多次重复性测量，得到多个观测值，它们的算术平均值才是测量结果。

测量的结果应包括数值、单位以及结果可信赖的程度。三者缺一不可。否则，所表示的测量结果无任何物理意义。

(3) 真值

真值是给与定的特定量定义一致的值。当对某量的测量不完善时，通常不能获得真值。真值是客观存在的，但它是一个理想的概念。通常可能知道的真值有如下四类。

① 理论值 如三角形内角和为 180° ;

② 公认值 如普朗克常数;

③ 计量学约定真值 计量部门约定的长度、时间、质量等,如当地重力加速度 g ;

④ 相对真值 用准确度高一个数量级的仪器校准的测量值。

(4) 实验标准 (偏) 差

提取真值和标准误差是测量的基本目的。由于测量误差的存在,真值实际上是无法测得的。根据随机误差的正态分布规律,测得值偏大或偏小的机会相等。因此,在排除掉系统误差后,各次测得的算术平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$$

必然最接近被测量的真值,因此,把多次测量结果的平均值作为真值的最佳估计值;把算术平均值的实验标准差

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \nu_i^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (n \geq 5)$$

作为平均值 $\bar{x}$ 的标准误差的估计值。

(5) 测量不确定度

测量不确定度是与测量结果相关联的参数,它表征测量真值在某一个量值范围内不能肯定程度的一个估计值。也就是说测量不确定度是测量结果中无法修正的部分,反映了被测量的真值不能肯定的误差范围的一种评定,测量不确定度包含 A 类标准不确定度 u_A 和 B 类标准不确定度 u_B 。总的标准不确定度用 u_C 表示,可由各标准不确定度分量的“方、和、根”法合成,即

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

通常以平均值 $\bar{x}$ 作为被测量的估计值 (即测量结果),以平均值的实验标准差 $s(\bar{x})$ 作为测量结果的 A 类标准不确定度,则 A

类标准不确定度为

$$u_A(\bar{x}) = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}$$

观测次数 n 充分多, 才能使 A 类不确定度的评定可靠。这种以统计方法给出的实验标准差称为 A 类不确定度分量。

在多数情况下, 由系统效应引起的不确定度分量统称为 B 类不确定度分量。在进行 B 类评定时, 首要问题是要知道测量仪器的“最大允许误差”, 本书中以 $\Delta_{\text{仪}}$ 来表示。有些仪器的 $\Delta_{\text{仪}}$ 可以通过查询国家计量检定规程而得到, 如卡尺、千分尺、天平等; 有些仪器可以在其铭牌和使用说明书中查到, 如直流电桥、直流电位差计等; 还有些仪器在铭牌上给出了准确度等级, 它可以换算成 $\Delta_{\text{仪}}$ 。总之, 在进行 B 类评定时, 要通过查阅相关资料, 以获得测量仪器的性能参数。实验室常用仪器的最大允许误差见 2.5 节。

本书约定

$$u_B(x) = \Delta_{\text{仪}} / \sqrt{3}$$

(6) 合成标准不确定度

设间接被测量所用的数学式 (或称测量式) 可以表示为如下的函数关系:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2-1)$$

式中, y 是间接测量结果; $x_1, x_2, \dots, x_n$ 是直接测量结果, 它们是相互独立的量。按这些量的方差 u_i^2 合成求得的不确定度, 称为 y 的合成标准不确定度, 记为 $u_c(y)$, 它表征合理赋予被测量估计值 y 的分散性。合成标准不确定度 $u_c(y)$ 可由下两式得出

$$u_c(y) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 u_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 u_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 u_n^2} \quad (2-2)$$

$$\frac{u_c(y)}{y} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_1}\right)^2 u_1^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_2}\right)^2 u_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_n}\right)^2 u_n^2} \quad (2-3)$$

对于和、差形式的函数用式 (2-1) 方便, 对于积、商形式的函数用式 (2-3) 方便。标准不确定度 u_i 既可以按 A 类或 B 类方法评

定,也可以按二者的“方、和、根”法合成。

(7) 扩展不确定度

扩展不确定度分为两类,即 U 和 U_p 。前者为标准差的倍数,后者为具有置信概率 p 的置信区间的半宽。它们的含义不同。当除以被测量值后,称为相对扩展不确定度,符号为 U_{rel} 、 $U_{p\text{rel}}$ 。

扩展不确定度 U 是合成标准不确定度 u_C 的 k 倍, k 称为包含因子。

$$U = k u_C(y)$$

在给出 U 时,必须指明 k 的取值。一般 k 的值在 2~3 之间。当 y 和 $u_C(y)$ 所表征的概率分布近似为正态分布,且 $u_C(y)$ 的有效自由度 ν_{eff} 较大时,可以认为:当 $k=2$ 时,所形成的区间置信水平约为 95%;当 $k=3$ 时,所形成的区间置信水平约为 99%。在大多数情况下取 $k=2$,当取其他值时,应说明来源。实际上,这时的 U 所包含的信息与 u_C 一样,并未因乘以 k 后,其信息有所增多。

对于任一给定的置信概率 p ,扩展不确定度记为 U_p 。表示为

$$U_p = k_p u_C(y)$$

式中, k_p 为置信概率为 p 时的包含因子。如果 y 和 $u_C(y)$ 所表征的概率分布接近正态分布, k_p 采用 t 分布临界值。 $k_p = t_p(\nu_{\text{eff}})$, 一般置信概率 p 取 95%、99%, 这时其符号为 U_{95} 、 U_{99} 。多数情况下,采用 $p=95\%$ 。当 ν_{eff} 充分大时,可以近似认为 $k_{95}=2$, $k_{99}=3$, 从而分别得出 $U_{95}=2u_C(y)$, $U_{99}=3u_C(y)$ 。

(8) 测量不确定度的报告与表示

完整的测量结果含有两个基本量,一个是被测量 Y 的最佳估计值 y ,另一个是描述该测量结果分散性的量,即测量不确定度。一般以合成标准不确定度 $u_C(y)$,扩展不确定 $U(y)$ 、 $U_p(y)$ 或它们的相对形式 $u_{C\text{rel}}(y)$ 、 $U_{\text{rel}}(y)$ 、 $U_{p\text{rel}}(y)$ 给出。

① 当用合成标准不确定度报告测量结果的不确定度时,可用如下的形式。例如,标准砝码的质量为 m_s ,测量结果为 100.021 47g,

合成标准不确定度 $u_C(m_s)$ 为 0.35mg , 则

$$m_s = (100.021\ 5 \pm 0.000\ 4)\text{g}$$

② 当用 U 或 U_p 报告测量扩展不确定度时, 对 U 应给出 k 值, 对 U_p 应明确 p 值。用 $U = k u_C(y)$ 的报告可如下表示。还以上例为例, $u_C(y) = 0.35\text{mg}$, 取包含因子 $k = 2$, $U = 2 \times 0.35\text{mg} = 0.70\text{mg}$, 则

$$m_s = (100.021\ 5 \pm 0.000\ 7)\text{g}; k = 2$$

或 $m_s = 100.021\ 5\text{g}, U = 0.7\text{mg}; k = 2$

用 $U_p = k_p u_C(y)$ 的报告可如下表示。例如, $u_C(y) = 0.35\text{mg}$, $\nu_{\text{eff}} = 9$, 按 $p = 95\%$, 查 JJF 1059—1999 附录 A 得 $k_{95} = t_{95}(9) = 2.26$, $U_{95} = 2.26 \times 0.35\text{mg} = 0.79\text{mg}$, 则

$$m_s = (100.021\ 5 \pm 0.000\ 8)\text{g}; \nu_{\text{eff}} = 9$$

或 $m_s = 100.021\ 5\text{g}, U_{95} = 0.8\text{mg}; \nu_{\text{eff}} = 9$

③ 估计值 y 的数值和它的不确定度 $u_C(y)$ 的数值都不应给出过多的位数。通常 $u_C(y)$ 最多为 2 位有效数字, 虽然在某些情况下, 为了在连续计算中避免修约 (参看 2.4 节) 误差而必须保留多余的位数。如果相关系数的绝对值接近于 1, 则相关系数应给出 3 位有效数字。

a. 在本书中约定对测量结果的不确定度一般取一位有效数字, 且仅当首位为 1 或 2 时取二位, 只进不舍, 剩余尾数只要不为 0, 一律进位。

b. 一旦测量不确定度的有效位数确定了, 则应采用它的修约间隔来修约测量结果以确定其有效至哪一位。也就是说, 当采用同一测量单位来表达测量结果和其不确定度时, 它们的末位应该是对齐的。

例如: 设测量值为 $8.579\ 613\text{mm}$, 如果扩展不确定度分别为 $U_1 = 0.003\ 93\text{mm}$ 与 $U_2 = 0.001\ 93\text{mm}$, 分别按 1 位和 2 位有效来修约 U_1 与 U_2 得

$$U_1 = 0.004\text{mm}, U_2 = 0.001\ 9\text{mm}$$

它们的修约间隔分别为：0.001 与 0.000 1。这就决定了测得值所应采取的修约间隔。

当为 U_1 时，得到 $(8.580 \pm 0.004)\text{mm}$

当为 U_2 时，得到 $(8.579\ 6 \pm 0.001\ 9)\text{mm}$

注意：

- 不允许连续修约。即在确定修约间隔后一次修约获得结果而不是多次修约。

- 当不确定度以相对形式给出时，不确定度也应最多保留两位有效数字。此时，测量结果的修约应将不确定度以相对形式返回到绝对形式，同样至多保留 2 位，再相应修约测量结果。

- 当采用同一测量单位来表达测量结果和其不确定度时，它们的末位应该是对齐的，这是 JJF 1059—1999 的规定，应予遵守。

若出现测量结果实际位数不够而无法与测量不确定度对齐时，一般的操作方法是补零后对齐。

例如：若测量结果 $\bar{y}$ 为 36.06mm， $u_c(\bar{y})$ 为 0.007mm，结果表达式应写成 $Y = (36.060 \pm 0.007)\text{mm}$ 。

(9) 误差

测量结果 x_i 减去被测量的真值 a 称为误差，记作 δ_i ，即

$$\delta_i = x_i - a$$

测量值与算术平均值之间的差 $\nu_i = x_i - \bar{x}$ 称为残差。由于 $\bar{x}$ 是 a 的最佳估计值，则 ν_i 即为 δ_i 的最佳估计值。用残差表示的误差称为偏差。

误差与不确定度是两个不同的概念，不应混用。在数轴上，误差是一个点，可正可负，而不确定度是一个区间，不能带负号。误差应该是一个确定的值，是客观存在的测量值与真值之差，但无法准确得到。不确定度是由人们经过分析和评定得到的，与人的认识程度有关。测量结果可能非常接近真值或误差较大，但由于认识不足，得到的不确定度可能较大或偏小。测量误差按其产生的原因和性质可分为随机误差和系统误差。