

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验

(第二版)

主编 周惟公 副主编 张自力 郑志远

高等教育出版社

014057515

04-33
365-2

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验

(第二版)

DAXUE WULI SHIYAN

主 编 周惟公

副主编 张自力 郑志远

参 编 冯 娟 蒋 芸 董爱国 樊振军 高 华

王亚芳 李传涛 董敬敬 刘 凝 熊 立



04-33
365-2

高等教育出版社·北京



北航

C1742217

内容提要

本教材是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010 年版),结合中国地质大学(北京)物理实验教学中心改革的经验编写的一本具有新型体系的实验教材。全书分为上、中、下三篇。上篇分为三章,第一章较系统地介绍了误差、不确定度的基础知识及数据处理的基本方法,第二章介绍了物理实验的基本操作,第三章介绍了系统误差的消除以及设计性实验的思路。中篇为第四章,收入了 18 个涉及力学、电磁学、光学等方面的实验,供学生在第一学期中选用。下篇为第五章,安排了 33 个综合提高和设计性实验,供学生在第二学期中选择使用。本教材在编写时贯彻了“层次梯度鲜明”和“注重素质培养”的指导思想。

本书可作为高等院校工科大学物理实验教材,也可供相关读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/周惟公主编. --2 版. --北京:
高等教育出版社, 2014. 8
ISBN 978 - 7 - 04 - 040107 - 3

I. ①大… II. ①周… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 125984 号

策划编辑	缪可可	责任编辑	缪可可	封面设计	张楠	版式设计	余杨
插图绘制	杜晓丹	责任校对	杨凤玲	责任印制	刘思涵		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京人卫印刷厂		http://www.landaco.com.cn
开 本	787mm×1092mm 1/16	版 次	2009 年 5 月第 1 版
印 张	18.75		2014 年 8 月第 2 版
字 数	390 千字	印 次	2014 年 8 月第 1 次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	29.80 元
咨询电话	400 - 810 - 0598		

本书如有缺页、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
物 料 号 40107-00

○ 前 言

本教材是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版),结合中国地质大学(北京)物理实验教学中心多年的教学改革与实践,编写的一本实验教材。

大学物理实验作为理工科大学生进入学校后的一门科学实验课程,其教学目的不仅是让学生受到严格、系统的实验技能训练,掌握进行科学实验的基本知识、方法和技巧,更重要的是培养学生敏锐的观察力和严谨的思维能力和培养学生理论联系实际、分析问题和解决问题的能力,特别是与科学技术发展相适应的综合能力和创新精神。

本教材有以下几个特点:

1. 针对计量学和科学技术的发展对大学实验教学提出的新要求,在“测量不确定度及数据处理的基础知识”章节中,采用了现代误差理论以及不确定度表示体系的基本概念。

2. 本教材分为上、中、下三篇,由浅入深,循序渐进。上篇着重基础知识、基本仪器、实验设计思想。中篇安排了18个相对简单的基础型题目,以培养学生的基本实验技能和严谨的科学态度为目的。下篇则收入了33个综合性题目和设计性题目,实验难度有所增加,实验要求相应提高,以保证学生在第二学期的学习中跃上新的台阶。改变了传统上以“力、热、电磁、光、近代物理”为编写顺序的教学内容。

3. 教材中也体现了具有地学特色的实验题目,为学生学习后续的专业课打下良好的基础。

本教材共收集实验项目51个,它凝聚着许多教师和实验技术人员的智慧和劳动,参加这次编写工作的有周惟公、张自力、郑志远、刘凝、冯娟、熊立、蒋芸、董爱国、樊振军、高华、王亚芳、李传涛、董敬敬等,本教材由周惟公任主编。

清华大学阮亮教授审阅了本教材,提出了许多宝贵的指导性意见。

编写本教材时,编者参阅了清华大学、东北师范大学、北京航空航天大学等兄弟院校教材,借此表示深切的谢意。

编 者
2014 年



中国地质大学
(北京)物理实验
教学中心简介



各类获奖证书



学生科技项目内
容汇总



附表

○ 目 录

上 篇

绪论 003

第一章 测量不确定度及数据处理
的基础知识 006

1.1 测量与误差的基本概念 006

1.2 测量结果的不确定度
评定 010

1.3 有效数字及其表示 017

1.4 物理实验数据处理的
基本方法 019

1.5 练习 022

第二章 物理实验基本操作 024

2.1 物理实验的基本测量
方法 024

2.2 物理实验的基本仪器 029

2.3 物理实验中的基本调整与
操作技术 049

2.4 计算机与微型计算器在物理
实验中的应用 054

第三章 设计性实验 057

3.1 设计性实验的性质
与任务 057

3.2 处理系统误差的
一般知识 058

3.3 实验方案的选择和实验
仪器的配套 063

中 篇

第四章 实验 073

实验 4-1 长度的基本测量 073

实验 4-2 物体密度的测定 076

实验 4-3 扭摆法测物体的转动
惯量 078

实验 4-4 三线摆 081

实验 4-5 扭秤法测液体表面
张力系数 085

实验 4-6 拉伸法测金属丝的
杨氏模量 088

实验 4-7 金属线膨胀系数的
测量 091

实验 4-8 热电偶温度计测金属
冷却曲线和熔点 094

实验 4-9 伏安法测电阻与元件

的伏安特性 098

实验 4-10 多量程电表的设计 101

实验 4-11 直流电桥测电阻 105

实验 4-12 示波器的原理和
使用 111

实验 4-13 静电场的模拟
描述 120

实验 4-14 用读数显微镜观察
盐类结晶过程 123

实验 4-15 薄凸透镜焦距
的测量 125

实验 4-16 显微镜和偏光显
微镜的组装 128

实验 4-17 分光计的调节 134

实验 4-18 数码摄影技术 139

下 篇

第五章 实验	145	实验 5-17 阿贝成像原理和	
实验 5-1 用传感器测空气相对		空间滤波	202
压力系数	145	实验 5-18 氢原子光谱的	
实验 5-2 重力加速度的		研究	210
研究	150	实验 5-19 光电效应测定普朗	
实验 5-3 霍尔效应	151	克常量	215
实验 5-4 磁场分布的测量	155	实验 5-20 光纤传输技术	220
实验 5-5 简谐振动的研究	158	实验 5-21 光栅光谱仪的应用 ...	226
实验 5-6 动量守恒定律	159	实验 5-22 塞曼效应	229
实验 5-7 动态法测材料的		实验 5-23 仿真实验	235
杨氏模量	161	实验 5-24 光学薄膜厚度和	
实验 5-8 声速测量	167	折射率测量	239
实验 5-9 等厚干涉(牛顿环、		实验 5-25 超声波的应用	242
劈尖干涉)	171	实验 5-26 用冲击电流计测量	
实验 5-10 用双棱镜干涉测钠		电容和高阻	246
光波长	177	实验 5-27 色度学实验	249
实验 5-11 测定三棱镜的		实验 5-28 全息照相与观察 ...	254
色散	180	实验 5-29 毛细管法测量液体	
实验 5-12 用透射光栅测定		黏度	259
光波波长	184	实验 5-30 红外通信特性	
实验 5-13 迈克耳孙干涉仪的		实验	264
调整及其使用	187	实验 5-31 <i>RLC</i> 电路特性的	
实验 5-14 <i>F-P</i> 干涉仪测波		研究	276
长差	193	实验 5-32 温度-电压变换及	
实验 5-15 氩原子第一激发电势		其特性研究	280
的测定	197	实验 5-33 巨磁电阻效应	
实验 5-16 电子比荷的测定 ...	200	及其应用	284

上 篇

绪论

第一章 测量不确定度及数据处理的基础知识

第二章 物理实验基本操作

第三章 设计性实验

绪论

Introduction

物理学本质上是一门以实验为基础的学科. 物理实验是科学实验的先驱, 体现了大多数科学实验的共性, 在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是自然科学与工程技术的基础. 物理规律的发现和物理理论的建立, 大多以实验为基础. 物理实验课是大学生进入大学后接受系统实验技能训练的开端; 同时, 也在培养学生良好科学素质及世界观等方面, 起着潜移默化的作用. 因此, 学好物理实验课对于高等学校的学生来说是十分重要的.

一、教学目的和任务

1. 培养学生对实验现象的观察和分析能力, 初步掌握科学实验的思想和方法, 提高学生的基本科学实验技能.
2. 提高学生的科学实验基本素质, 倡导积极主动的探索精神, 培养学生的创新意识.
3. 培养学生实事求是的科学态度, 严谨务实的工作作风以及团结协作、爱护公物的优良品德.

二、主要教学环节

1. 课前预习.

要求学生课前仔细阅读实验讲义或有关资料和课件, 并学会从中归纳出实验原理、方法、实验条件、实验注意事项等, 在此基础上写出预习报告. 预习报告写在专用实验报告纸上, 预习报告要求简明、正确, 图表内容完整(根据实验内容画好数据记录表格), 字迹工整.

2. 实验操作.

(1) 进入实验室时交预习报告并回答教师的提问, 没有预习者不准进入实验室做实验.

(2) 认真听讲, 观看演示, 明确实验内容和操作方法. 操作仪器要注意安全, 仔细观察实验现象, 正确记录数据. 仪器发生故障时, 要在教师的帮助下学习排除故障的方法.

(3) 学生进入实验室后应遵守实验室规则, 使用指定仪器, 不要擅自动用其他仪器.

(4) 在实验过程中要把重点放在实验技能的提高和创新意识的培养上. 对实验数据要严肃对待, 要用钢笔或圆珠笔记录数据. 若确实记错了, 应轻轻划掉, 在旁边写上正确值, 使正误数据都清晰可辨, 以供在分析测量结果和误差时参考. 记录原始数据不要用铅笔, 要注意纠正不良习惯, 从一开始就不断培养良好的科学作风.

(5) 实验结束,实验数据交教师审阅签字,整理还原仪器,离开实验室。

3. 课后处理数据,完成实验报告。

实验课后对实验数据要及时处理。对所测数据加以整理,重新列表。处理过程包括计算、作图、误差分析等。计算要有计算式,代入的数据都要有依据,便于别人看懂,也便于自己检查。作图要按作图规则,图线要规矩、美观。数据处理后要给出完整的实验结果。注重实验小结的撰写,完成的实验报告应及时交到实验室。

三、书写实验报告

通常实验报告分为以下三部分。

1. 预习报告。

它为正式报告的前面部分,要求在正式做实验之前写好。内容主要包括:题目、目的、原理、所用仪器、操作内容和步骤、数据表格等。在理解的基础上,用简短的文字扼要地阐述实验原理,附上电路图、光路图等,切忌整篇照抄。力求做到图文并茂,写出实验的主要公式。根据实验内容,按照列表法要求,自主设计数据表格。

2. 实验记录。

内容包括:

(1) 仪器:记录实验所用主要仪器的编号和规格。记录仪器编号是一个好的工作习惯,便于以后必要时对实验进行复查。记录仪器规格可以使学生逐步地熟悉它,以培养选用仪器的能力。

(2) 实验内容和现象的观测和记录。

(3) 数据:数据记录应做到整洁清晰而有条理,尽量采用列表法。设计表格力求简单明了、分类清楚、便于计算和复查。在标题栏内要求注明单位。数据不得任意涂改。

3. 数据处理与计算。

(1) 作图、计算结果与不确定度估算:按作图要求绘制图线。计算时,先将公式化简,再代入数据进行计算。不确定度估算要先写出不确定度公式。

(2) 结果表示要规范。必要时注明实验条件。

(3) 思考题:完成教师指定的思考题。

(4) 小结:对实验中出现的问题进行讨论和分析。

实验报告要求学生努力做到书写清晰、字迹端正、数据记录整洁、图表合理、文理通顺、内容简明扼要。实验报告一律采用专用的物理实验报告纸撰写。

四、学生守则

1. 必须遵守实验中心制定的各项规章制度和规定,需带预习报告,经教师检查同意后方可进行实验。

2. 遵守课堂纪律,保持安静的实验环境,学生应提前5分钟到实验室。

3. 进入实验室后要对号入座,检查仪器是否短缺、器材部件是否缺损,发现问题应及时报告。

4. 使用电源时,务必经过教师检查线路后才能接通电源。

5. 爱护仪器,进入实验室不能擅自搬弄仪器,实验中要严格按照仪器说明书操作,如有损坏,照章赔偿.

6. 做完实验应将仪器整理还原,将桌面、地面和凳子收拾整齐,经教师检查测量数据和仪器还原情况并签字后,方能离开实验室.

7. 补做实验,需有教师的签字,补做报告方可记为通过.

8. 实验报告要在实验后一周内交到相应的实验室.

第一章

测量不确定度及数据处理的基础知识

Information of Uncertainty Determination and Data Processing

1.1 测量与误差的基本概念(concept of measurement and error)

1.1.1 测量

测量是指为确定被测对象的量值而进行的实验过程. 物理实验是以测量为基础的. 按照测量条件的不同, 测量又可分为等精度测量和不等精度测量. 在相同条件下进行的一系列测量称为等精度测量. 例如, 同一个人, 使用同一种仪器, 采用同样的方法, 对同一待测量连续进行多次测量, 此时应该认为每次测量的可靠程度都相同, 故称之为等精度测量, 这样的一组测量值称为一个测量列. 在不同条件下进行的一系列测量, 例如不同人员, 使用不同的仪器, 采用不同的方法进行测量, 则各次测量结果的可靠程度自然也不相同, 这样的测量称为不等精度测量. 处理不等精度测量结果时, 需要根据每个测量值的“权重”, 进行加权平均. 本章所介绍的不确定度和数据处理知识都是针对等精度测量的.

1.1.2 测量误差

测量结果都具有误差, 误差自始至终存在于一切科学实验和测量过程之中. 因为任何测量仪器、测量方法、测量环境、测量者的观察力等都不能做到绝对严密, 这就使测量过程不可避免地伴随有误差的产生.

测量误差就是测量结果与被测量的真值(或约定真值)之间的差值, 测量误差的大小反映了测量结果的准确程度. 测量误差可以用绝对误差或相对误差表示.

$$\text{绝对误差} = \text{测量值} - \text{被测量的真值}$$

$$\text{相对误差} = \frac{\text{测量的绝对误差}}{\text{被测量的真值}} \quad (\text{百分数})$$

任何一个物理量, 在一定条件下都具有确定的量值, 这是客观存在的, 这个客观存在的量值称为该物理量的真值. 真值是一个理想概念, 一般来说真值是无法通过测量获得的. 在实际测量过程中常用被测量已修正过的算术平均值来代替真值作为最佳估计值, 称为约定真值.

1.1.3 测量误差的分类

正常测量的误差, 按其产生的原因和性质可分为系统误差和随机误差两类.

1.1.3.1 系统误差

在同样条件下,对同一物理量进行多次测量,其误差的大小和符号保持不变或随着测量条件的变化而有规律地变化,这类误差称为系统误差.系统误差的特征是具有确定性,它的来源主要有以下几个方面:

1. 仪器因素

由于仪器本身的固有缺陷或没有按规定条件调整到位而引起的误差.例如,仪器标尺的刻度不准确,零点没有调准;等臂天平的臂长不等,砝码不准;测量显微镜精密螺杆存在回程差;仪器没有放水平,偏心、定向不准等.

2. 理论或条件因素

由于测量所依据的理论本身的近似性或实验条件不能达到理论公式所规定的要求而引起的误差.例如,称物体质量时没有考虑空气浮力的影响,用单摆测量重力加速度时的影响等.

3. 人员因素

由于测量人员的主观因素和操作技术而引起误差.例如,使用停表计时,有的人总是操之过急,计时比真值短;有的人则反应迟缓,计时总是比真值长.再如,有的人对准目标时,总爱偏左或偏右,致使读数偏大或偏小.

对于实验者来说,系统误差的规律及其产生的原因,可能知道,也可能不知道.已被确切掌握其大小和符号的系统误差称为可定系统误差;对于大小和符号不能确切掌握的系统误差称为未定系统误差.前者一般可以在测量过程中采取措施予以消除,或在测量结果中进行修正.而后者难以修正,只能估计其取值范围.

1.1.3.2 随机误差

在相同条件下,多次测量同一物理量时,即使已经精心排除了系统误差的影响,也会发现每次测量结果都不一样.测量误差的时大时小,时正时负,完全是随机的.在测量次数少时,显得毫无规律,但当测量次数足够多时,可以发现误差的大小及正负都服从某种统计规律.这种误差称为随机误差.随机误差的特征是它的不确定性,它是由测量过程中一些随机的或不确定的因素引起的.例如,观测者本人在判断和估计读数上的变动性,实验装置和测量仪器在各次调整操作中的变动性,测量仪器指示数值的变动性,实验环境中的温度、湿度、气流变化,电源电压的起伏,微小振动以及杂散电磁场等都会导致随机误差.

现在以单摆测重力加速度实验为例对产生的误差进行分析.

物理中理想的单摆是用其质量可忽略不计的无弹性的线挂起一质点,在摆角接近零时,摆长和周期之间存在关系 $T = 2\pi\sqrt{l/g}$,其中 g 为当地的重力加速度.表 1-1 给出实验中引入误差的原因和对误差是“系统的”或“随机的”的估计.

表 1-1 单摆测重力加速度实验中的误差来源及误差类别

	误差来源	误差类别
1	米尺和停表本身不准确	系统的
2	对仪器的操作不准确	系统的或随机的
3	仪器读数不正确	系统的或随机的
4	摆线质量不为零	系统的
5	摆锤体积不为零	系统的
6	摆角大小不为零	系统的
7	存在空气浮力和阻力	系统的
8	支点状态	系统的或随机的
9	支架振动或空气流动	随机的

表 1-1 中,1、4、5、6、7 项均属系统误差,2、3、8、9 项中存在随机误差。

通过上例,我们把误差的来源可概括为四个方面:(1) 理论和方法;(2) 仪器精度;(3) 实验环境;(4) 观测者。

除系统误差和随机误差外,还有粗大误差。粗大误差是由于实验者操作不当或粗心大意造成的,例如看错刻度、读错数字、记错单位或计算错误等。实验中的过失误差不属于正常测量的范畴,应予以剔除(见后)。

1.1.4 随机误差的处理

1.1.4.1 随机误差的正态分布(或高斯分布)规律

大量的测量误差服从正态分布规律。正态分布曲线如图 1-1 所示。图中 x 代表某一物理量的实验测量值, $P(x)$ 为测量值的概率密度,且

$$P(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

其中

$$\mu = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum x}{n}, \quad \sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum (x-\mu)^2}{n}}$$

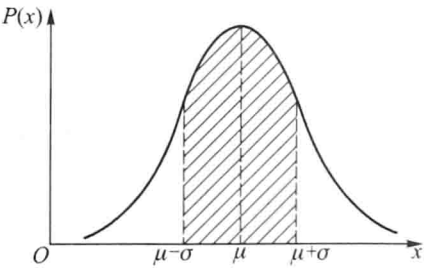


图 1-1

从曲线可以看出,被测量值在 $x = \mu$ 处的概率密度最大,曲线峰值处的横坐标相应于测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时被测量的平均值 μ 。横坐标上任一点到 μ 值的距离 $(x - \mu)$ 即为与测量值 x 相应的随机误差分量。随机误差小的概率大,随机误差大的概率小。 σ 为曲线上拐点处的横坐标与 μ 值之差,它是表征测量值分散性的重要参量,称为正态分布的标准偏差。这条曲线是概率密度分布曲线,当曲线和 x 轴之间的总面积为 1 时,其中介于横坐标上任何两点间的某一部分面积,可以用来表示随机误差在相应范围内的概率。如图中阴影部分在 $(-\sigma, +\sigma)$ 内的面积就是随机误差在 $\pm \sigma$ 范围内的概率(又称为置信概率),即测量值落在 $(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$ 区间内的概

率,由定积分计算可得其值为 $P = 68.3\%$. 如将区间扩大一倍,则 x 落在 $(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$ 区间内的概率就提高到 95.4% ; x 落在 $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 区间内的概率为 99.7% .

从分布曲线可以看出:在多次测量时,正负随机误差常可以大致抵消,因而用多次测量的算术平均值表示测量结果,可以减小随机误差的影响;测量值的分散程度直接体现随机误差的大小,测量值越分散,测量的随机误差就越大.

1.1.4.2 随机误差的处理

对随机误差作估计的方法有多种,科学实验中常用标准偏差来估计测量中的随机误差. 实验中不可能进行无限次测量,测量次数是有限的,因此,应研究这种情况下的随机误差估计方法.

1. 测量列的标准偏差

从理论上讲,对某物理量 x 做 n 个等精度测量,得到包含 n 个测量值 $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ 的一个测量列. 由于是等精度测量,我们无法断定哪个值更可靠,概率论可以证明,其算术平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.1)$$

为最佳估计值. 定义该测量列的标准偏差为

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.2)$$

其统计意义指出,当测量次数足够多时,测量列中任一测量值落在 $[\bar{x} - S(x), \bar{x} + S(x)]$ 区间内的概率为 0.683 ,这一公式称为贝塞尔公式. 可以用这一标准偏差表示测量的随机误差. 现在很多计算器上有这种统计计算功能,可直接用计算器求得 $S(x)$ 等数值.

当 $n \rightarrow \infty$ 时,物理量 x 将成为连续型随机变量,其概率密度分布函数就成为正态函数.

2. 算术平均值的标准偏差

在实际工作中,人们关心的往往不是测量列的数据散布特性,而是测量结果,即算术平均值的离散程度.

设想我们对某物理量 x 进行有限的 n 次(n 仍很大)测量后,得到一个最佳值 $\bar{x}$,这一测量列中任一测量值 x_i 落在 $[\bar{x} - S(x), \bar{x} + S(x)]$ 区间内的概率为 68.3% . 若测量次数增加到 $(n+m)$ 次,则可得到另一最佳值 $\bar{x}'$ 和相应的偏差 $S'(x)$, $\bar{x}$ 与 $\bar{x}'$ 、 $S(x)$ 与 $S'(x)$ 一般不会相同. 继续增加测量次数,可发现 $\bar{x}$ 也是一个随机变量. 那么,随着测量次数的增加, $\bar{x}$ 本身的可靠性如何呢? 显然, $\bar{x}$ 比测量列中的任一测量值更可靠. 由概率论可以证明算术平均值 $\bar{x}$ 的标准偏差为

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \frac{S(x)}{\sqrt{n}}, \quad P = 68.3\% \quad (1.3)$$

1.2 测量结果的不确定度评定(assess of result uncertainty)

1.2.1 正确表示测量不确定度的意义

测量的目的是确定被测量的值或获取测量结果. 因此, 当报告测量结果时, 必须对其给出定量的说明, 以确定测量结果的可信程度. 测量不确定度就是对测量结果质量的定量表征, 测量结果的可用性很大程度上取决于其不确定度的大小, 所以, 测量结果必须附有不确定度说明才是完整并有意义的.

测量不确定度的概念在测量历史上相对较新, 其应用具有广泛性和实用性. 正如国际单位制(SI)计量单位已渗透到科学技术的各个领域, 并被全世界普遍采用一样, 无论哪个领域进行的测量, 在给出完整的测量结果时也普遍采用了测量不确定度. 尤其是在市场竞争激烈, 经济全球化的今天, 测量不确定度评定与表示方法的统一, 乃是科技交流和国际贸易的迫切要求, 它使各国进行的测量及其所得到的结果可以进行相互比对, 取得共识. 因此, 统一测量不确定度的表示方法并推广应用公认的规则, 受到了国际组织和各国计量部门的高度重视.

1.2.2 测量不确定度的来源

任何测量结果的不确定度均是几个不同来源的不确定度的综合效应, 评定不确定度首先要明确它的不同来源. 实际上不确定度的来源可能有以下几个方面:

- (1) 原理、方法、实施方案不理想;
- (2) 实验装置体现实验原理、方法不完善;
- (3) 读数的偏差;
- (4) 仪器的基本误差;
- (5) 仪器的不稳定;
- (6) 调整、操作上不完善;
- (7) 环境及其他偶然变化;
- (8) 借用值的不确定度;
- (9) 标准物的不确定度.

在实际工作中我们经常会发现, 无论怎样控制环境条件以及各类对测量结果可能产生影响的因素, 而最终的测量结果总会存在一定的分散性, 即多次测量的结果并不完全相等. 这种现象是一种客观存在, 是由一些随机效应造成的.

上述不确定度的来源可能存在相关性. 对于那些尚未认识到的系统效应, 显然是不可能在上述不确定度评定中予以考虑的, 但它可能导致测量结果的误差. 由此可见, 测量不确定度一般来源于随机性或模糊性. 前者归因于条件不充分, 后者归因于事物本身概念不明确. 因而测量不确定度一般由许多分量组成, 其中一些分量具有统计性, 另一些分量具有非统计性. 所有这些不确定度来源, 若影响到测量结果, 都会对测量结果的分散性作出贡献. 也就是说由于这些不确定度的来

源的综合效应,使测量结果的可能值服从某种概率分布. 可以用概率分布的标准差来表示测量不确定度,称为标准不确定度,它表示测量结果的分散性.

1.2.3 不确定度的定义

测量不确定度定义为测量结果带有的一个参量,用以表征合理赋予被测量值的分散性,它是被测量客观值在某一量值范围内的一个评定. 不确定度理论将不确定度按照测量数据的性质分类:符合统计规律的,称为 A 类不确定度,而不符合统计规律的统称为 B 类不确定度.

分 A 类、B 类的目的是表明不确定度评定的两种方法,仅为讨论方便,并不意味着两类评定之间存在本质上的区别. 它们都基于概率分布,并都用方差或标准差表征.

因此,A 类不确定度由以观测列频率分布导出的概率密度函数得到;B 类不确定度由一个认定的或假定的概率密度函数得到. 两种方式都用已知的概率解释.

在测量过程中由于粗心大意、仪器使用不当或突然的故障、突然的环境条件变化(例如突然冲击或振动、电源电压突变等),都会产生异常的测量值. 对经判断确为异常值的数据,应予以剔除,不得包括在测量值的范围之内. 也就是说,在不确定度的评定中应剔除异常值.

1.2.4 异常值的剔除

在一组观测值中,若其中最大值(或最小值)严重偏离它所属样本的其余观测值,即超过了预期的观测值,称为异常值. 产生异常值的原因是多方面的,一类是客观外界条件的因素,如测量条件的意外变化(冲击、震动、仪器故障等)使得仪器示值出现异常;另一类是测量人员的主观因素,如操作不当、记录错误等. 测量过程中,若发现测量数据明显异常,应做记录,以便判断是否应该剔除. 不注明原因而随意划掉一个数据是不科学的. 一般用于判断异常值的方法很多. 国家标准 GB 4883—85 推荐,判断一个异常值以格罗布斯(Grubbs)方法为准,可得简化而严密的结果. 此方法给出一个和数据个数 n 相联系的系数 $g_n(\alpha=0.05)$ (见表 1-2). 当已知数据个数 n ,算术平均值 $\bar{x}$ 和测量列标准偏差 S ,则可以保留的测量值 x_i 的范围为

$$(\bar{x} - g_n \cdot S) < x_i < (\bar{x} + g_n \cdot S)$$

表 1-2 $g_n(\alpha=0.05)$ 系数表

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
g_n	1.15	1.46	1.67	1.82	1.94	2.03	2.11	2.18	2.23	2.28	2.33
n	14	15	16	17	18	19	20	22	25	30	
g_n	2.37	2.41	2.44	2.48	2.50	2.53	2.56	2.60	2.66	2.74	

例 1 测得一组长度值,如表 1-3 所示(单位:cm).