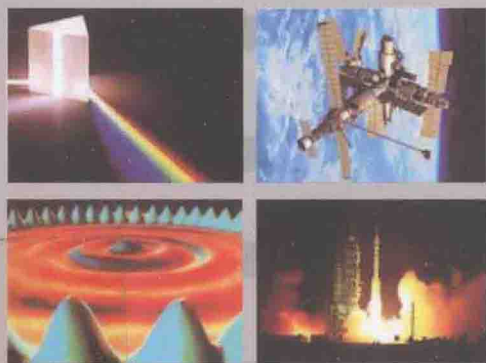


江苏省高等学校精品教材配套实验指导
高等职业教育课程改革示范教材·物理

应用物理实验指导

主编 张田林

YINGYONGWULI
SHIYANZHIDAO



 南京大学出版社

□责任编辑 沈 洁
□责任校对 张黄群
□装帧设计 顾 群

高等职业教育课程改革示范教材·物理

应用物理基础(电气类)

应用物理基础(机械类)

应用物理基础(信息类)

应用物理实验指导

ISBN 978-7-305-07434-9



9 787305 074349 >

定价:24.00元

江苏省高等学校精品教材配套实验指导
高等职业教育课程改革示范教材·物理

应用物理实验指导

主 编 张田林
副主编 周全生 沈梅梅 徐礼明 钱 志
参 编 李汉权 范凤萍 王小丽
主 审 陆建隆



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

应用物理实验指导 / 张田林主编. —南京:南京
大学出版社, 2010. 8
高等职业教育课程改革示范教材
ISBN 978-7-305-07434-9

I. ①应… II. ①张… III. ①应用物理—实验—高等
学校: 技术学校—教材 IV. ①059-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 157897 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
网 址 <http://www.NjupCo.com>
出 版 人 左 健

书 名 应用物理实验指导
主 编 张田林
责任编辑 沈 洁 编辑热线 025-83593962
照 排 南京紫藤制版印务中心
印 刷 南京大众新科技印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 13.5 字数 335 千
版 次 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-305-07434-9
定 价 24.00 元

发行热线 025-83594756
电子邮箱 Press@NjupCo.com
Sales@NjupCo.com(市场部)

-
- * 版权所有, 侵权必究
 - * 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

物理学从本质上说是一门实验科学,物理概念的建立和物理规律的发现都以严格的实验事实为基础,并且不断受到实验的检验。物理学在自然科学其他领域、各高新技术领域的广泛应用也离不开实验。在物理学发展和应用的过程中,人类积累了丰富的实验方法,设计制造出了各种精密巧妙的仪器设备,从而使物理实验课程有了充实的实验内容。物理实验在培养学生严谨的科学思维和理论联系实际的能力方面,在训练学生运用实验手段去观察、分析、发现乃至研究、解决问题的能力方面,在提高学生科学文化素养方面,都起着极其重要的作用。

提高全民族科学文化素养,培养具有一定理论知识和较强动手实践能力的技术应用型人才,是当前高职教育的价值取向,在这样的教育思想指导下,高职教育课程体系及内容的确定,当以“实践”、“应用”为特征,以“必需”、“够用”为度。应用物理实验课程的教学,在对高职理工科类学生的培养中,有着重要且其他课程不可取代的作用,本课程将对学生在实验方法和实验技能方面进行较为系统的训练,引导学生确立正确的科学思想和掌握科学的研究方法,强化学生动手实践能力,培养学生创新意识和创新能力,并且为后续的专业学习提供支撑。

在江苏省基础课程教学改革委员会的指导下,我们组织了一批教学经验丰富,且热心于高职物理实验课程教学研究的教师,进行了高职物理实验教学的研讨,并编写出版了本书,其主要思路及特点为:

一、强调科学实验方法的培养。本书第一章将对学生进行实验误差理论和数据处理方法方面的训练,同时,每个实验中,包含重点选用的实验方法、数据处理分析方法等内容,从而使学生掌握基本的科学实验方法,同时也为后续的专业课程学习以及生产科研活动打基础。

二、强调对物理实验原理的理解。每个实验,对其原理部分进行了精讲细解,实验后,还提出了许多思考问题,在培养学生能力的同时,还促使学生对知识进行理解和掌握,使学生不仅会做实验,更重要的是使学生懂得实验。

三、强调实验技能的训练。实验中,内容、方法、步骤的安排很具体,并且列出了注意事项及思考,其中的许多内容,将促使学生对实验方法和步骤进行总结思考和调整。

四、重视知识的应用和拓展。本书尽可能多地选用了与生产、生活、科研相关的物理实验。许多实验,其原理、方法、结果意义等多方面都有着实际的应用,大部分实验后配备了附加内容,有的是提出了不同的实验方法,有的是介绍具体应用,有的是进行相关知识的拓展。

五、重视学生探究能力的培养。本书第四章是设计性实验,在提出实验目的和内容要求后,要求学生清晰地理解实验原理、自行设计实验方法、自行决定所要采集的数据、自行确定数据处理方法,实际上是要求学生通过研究性学习,促进科学探究能力的提高。

六、内容灵活可选择。本书共列出了三十个实验,分为基础实验、综合实验和设计性实验三部分,每个实验内容力求周详,以利于学生自学和预习,考虑到物理课程的实际情况及不同

专业学生教学的需要,在实际教学中可对实验进行选做。同一实验下介绍的多个实验方法,有利于师生根据具体实际情况进行选择。

本书作为高职院校理工类学生物理实验指导教材,也适合文科类学生阅读,也可供一般读者了解物理知识、加强实验能力、了解现代技术应用参考使用。

参与本教材编写的院校人员以及相应的编写内容如下。

江苏农林职业技术学院:张田林,编写了绪论、实验 2.5(I)、实验 3.1、实验 3.2、实验 3.3、实验 3.5(II)、实验 4.3、实验 4.5、附录;徐礼明,编写了第 1 章、实验 2.7、实验 2.9、实验 2.10、实验 3.6、实验 3.7、实验 3.9、实验 3.11。常州工程职业技术学院:周全生,编写了实验 2.3、实验 3.14、实验 4.2、实验 4.4;范凤萍,编写了实验 2.6、实验 3.8。扬州职业大学:沈梅梅,编写了实验 2.1、实验 2.5(II)、实验 3.5(I)、实验 3.12;李汉权,编写了实验 3.4、实验 3.15、实验 4.1。江苏畜牧兽医职业技术学院:钱志,编写了实验 2.2、实验 2.4、实验 2.8、实验 3.10、实验 3.13。

本书由张田林统稿,南京师范大学物理科学与技术学院陆建隆教授审稿,江苏农林职业技术学院王小丽老师参与绘制了大量图片,本书出版也得到了南京大学出版社领导和编辑们的大力支持,在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,错误和疏漏在所难免,恳请斧正。

编者

2010 年 8 月

目 录

绪 论	1
第 1 章 物理实验误差理论与数据处理	4
§ 1.1 测量与误差	4
§ 1.2 测量的不确定度评定	7
§ 1.3 有效数字及其运算	13
§ 1.4 实验数据处理方法	19
§ 1.5 利用 Excel 软件处理实验数据	25
第 2 章 基础实验	32
实验 2.1 形状规则固体密度的测量	32
实验 2.2 用单摆测重力加速度	39
实验 2.3 固体材料杨氏模量的测定	42
实验 2.4 毛细管法测定液体表面张力系数	46
实验 2.5 刚体转动惯量的测定	49
实验 2.6 固体导热系数的测定	58
实验 2.7 模拟法测绘静电场	62
实验 2.8 示波器的使用	67
实验 2.9 分光计的调节与使用	76
实验 2.10 半导体 PN 结的物理特性	83
第 3 章 综合实验	89
实验 3.1 流体运动规律研究	89
实验 3.2 太阳能电池伏安特性研究	95
实验 3.3 电表的改装与校准	100
实验 3.4 用电位差计测电动势	107
实验 3.5 用电桥测量电阻	111
实验 3.6 补偿法测量电阻	121
实验 3.7 RLC 交流电路特性的研究	124
实验 3.8 利用霍耳效应测磁场	133
实验 3.9 电子束在电场和磁场中的运动	139

实验 3.10	折射率测定	146
实验 3.11	光波波长的测定	149
实验 3.12	光的干涉和衍射	153
实验 3.13	光电效应与普朗克常数的测定	161
实验 3.14	传感器综合实验	165
实验 3.15	光通讯综合实验	168
第 4 章	设计性实验	173
实验 4.1	碰撞打靶	173
实验 4.2	制作万用表	176
实验 4.3	电子温度计的制作	189
实验 4.4	超声声速测量与超声测厚	192
实验 4.5	照明线路安装	198
附录		205
附录 1	中华人民共和国法定计量单位	205
附录 2	物理学常用基本常量	208
参考文献		209

绪 论

一、物理实验课的目的和任务

物理学是自然科学中最重要、最活跃的带头学科之一,物理学理论和实验的发展哺育着近代高新技术的成长和发展,物理实验的思想、方法、技术和装置常常是自然科学研究和工程技术发展的生长点。物理实验是根据研究目的,选用合适的仪器和装置,人为地控制、创造或纯化某种自然过程,同时在尽可能减少干扰的情况下进行观测,以探求该自然过程变化规律的一种科学实践。

物理实验课程是学生进入大学后接受到系统的实验思想和实验技能训练的一门实践性课程,是各门后续实验课的基础。所以本课程在培养学生观察、分析、发现问题的能力以及培养学生动手能力和创新精神等方面都起着重要的作用。

物理实验的作用不仅在于实验的内容上,更重要的是实验进行的过程,在实验过程中,学生不仅掌握了知识,培养了能力,而且通过实验过程了解了科学研究的方法,树立了严谨的科学态度和一丝不苟的工作作风,为将来的工作和学习打下坚实的基础。《应用物理实验指导》与物理课程相配套,它有如下四个方面的目的和任务:

1. 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,使学生掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能;同时通过对物理原理的运用、物理实验方法的训练,加深了对物理学基本原理的理解。

2. 培养和提高科学实验的能力。

- (1) 信息处理能力:通过自行阅读实验教材或网上查找资料,正确理解实验内容,在实验前作好实验准备,在实验后运用计算机处理实验数据。

- (2) 动手实践能力:借助教材或仪器说明书,正确调整和使用常用仪器。

- (3) 思维判断能力:运用物理理论,对实验现象进行分析和判断。

- (4) 书面表达能力:正确记录和处理数据,撰写合格的实验报告。

- (5) 综合设计能力:根据课题要求,确定实验方法和条件,合理选择实验仪器,拟定具体的实验步骤。

- (6) 科技创新能力:通过设计性实验,了解知识的发现与创新的过程,强化创新意识,促进创新思维。

3. 通过对实验原理和方法的理解,了解相关原理和方法在实际生活、生产及科学研究上的应用,提高学生对科学知识的实际应用能力,同时提高创新能力。

4. 培养学生的科学素养。在物理实验过程中,培养学生实事求是的科学作风、严肃认真的工作态度、主动进取的探索精神、相互协作的团队意识和爱护公物的优良品质,为后续课程

的学习乃至终身教育奠定良好的基础。

二、物理实验课程的主要教学环节

科学实验的全过程通常包括:(1) 确定课题;(2) 根据课题内容收集资料;(3) 制定研究方案;(4) 设计实验程序;(5) 选择合适的仪器设备;(6) 实验研究:包括操作、观测、记录、分析、进一步实验;(7) 撰写实验研究报告(论文)。应用物理实验指导将在基础实验、综合实验、设计性实验的教学中对学生进行相关的训练,让学生体验到科学实验的全过程。物理实验课程的教学环节大致可分为以下三个部分:

1. 实验预习

实验前要仔细阅读实验教材与有关资料,了解实验的目的要求、原理和方法,初步了解实验所需的测量仪器的主要性能、使用方法和注意事项。

如果是设计性实验,则需要制定初步的实验方案,明确实验的原理、设计实验的步骤、考虑需要测量的实验数据及处理方法、提出对仪器设备的要求等。

2. 实验操作

实验时应遵守实验室规章制度,以进行科学研究的姿态,井井有条地布置实验仪器,安全操作,细心观察实验现象,认真思考和探索实验中出现的問題。特别是设计性实验,在遇到困难时,应看做是进一步学习的机会,认真分析,找出问题所在,不断修正实验方法甚至可以重新设计实验方案。仪器设备发生故障时,应在教师的指导下学习排除故障。实验中要正确记录数据(特别是单位和有效数字位数),如发现数据有疑问时,可以重新实验,并对原来数据做好标记,以备查考,没有重新测量绝不允许修改实验数据。

3. 实验总结

实验报告是对整个实验工作的全面总结。实验结束后,要将实验结果真实地在实验报告中表达出来,内容既要完整,又要避免烦琐,力求简明扼要,这也是培养科学实验素质的内容之一。

实验报告要求文字通顺,书写端正,数据齐全,图表规范,结果表示正确(包括误差),分析讨论认真。实验报告的内容应包括以下几个方面:(1) 实验名称;(2) 实验目的;(3) 实验仪器及设备;(4) 实验原理及计算公式;(5) 实验步骤;(6) 实验数据记录及处理(包括计算、必要的图表、误差分析等);(7) 实验结果;(8) 分析讨论。

对于设计性实验,则应对实验原理、公式推导、仪器设备的选择、实验方案的设计、操作步骤、数据结果的分析等有比较详细的叙述。

三、物理实验课程学生须知

1. 实验课前应充分做好预习工作,真正了解本次实验“做什么、怎么做、为什么这样做”,在了解本次实验的目的、原理的基础上,弄清要观察哪些现象,测量哪些物理量,用什么方法和仪器来测定,应如何来处理实验数据,必要时还要设计好数据表格。凡未预习或预习不充分的学生,实验后获得的收获将会很有限。

2. 实验时应严肃认真,养成严谨求实的工作作风,不得伪造实验数据或相互抄袭实验结果。

3. 实验课应注意安全,爱护仪器,如有遗失或损坏仪器等情况发生,请及时向指导教师报

告,教师将酌情按有关章程制度处理。实验结束应将仪器、桌凳等整理好后再离开实验室。

4. 每次实验必须携带实验指导书、图纸、计算器及必备的文具。

5. 每次实验的数据,请记录在实验指导书的“实验数据记录”部分,实验完毕须经指导教师审核实验结果(包括数据处理)并签阅后方可结束实验。

6. 设计性实验,可根据选择的内容在规定的时间内完成,可以以小论文的形式撰写实验报告。若学生需要做其他内容的研究,必须经指导老师同意,并由指导老师了解、关注研究过程。

7. 指导教师根据学生的实验预习情况、实际操作能力、实验报告书写、实验态度等因素对每个学生所做的每个实验进行综合评定,给予一定的成绩。物理实验课程的总成绩由学生所做的每个实验的成绩和实验个数决定。

第 1 章 物理实验误差理论与数据处理

§ 1.1 测量与误差

进行物理实验,总是使用一定的实验方法,选用一定的仪器,在一定的条件下对某些物理量进行测量,最后用正确的形式把实验结果表示出来。由于实验方法的选择、实验仪器的精度、实验环境的变化以及实验者的习惯等因素,不可能使得实验结果非常完美,即一定存在着误差。进行正确的实验数据处理,使得测量结果尽可能地接近真值、误差更小,这是实验过程中必须掌握的。

1.1.1 测 量

1. 测量的定义

物理实验离不开测量,所谓测量,就是借助仪器或量具,通过一定的方法直接或间接地用“标准”与被测对象进行比较。测量的结果应包括数值、单位以及对测量可信赖程度的描述。

2. 测量的分类

按照测量方法的不同,可将测量方法分为直接测量法、间接测量法和组合测量法。

(1) 直接测量

能够用仪器或量具直接得到被测量值的大小的测量方法称为直接测量法。相应测得的物理量称为直接测量量。例如用米尺测量物体的长度 L ,用等臂天平测量物体的质量 M 等就是直接测量。

(2) 间接测量

有些物理量是不能够用所给的仪器直接测量的,而是要以直接测量为基础,并通过直接测量量利用一定的函数关系求出被测量的大小,这种测量方法称为间接测量法。例如用游标卡尺来测量圆柱体的体积 V 。首先要通过对其直径 d 、高度 h 的测量,然后用函数关系 $V = \frac{\pi}{4} d^2 h$ 来求得 V ,所以这种测量是间接测量。

在大学物理实验中遇到的测量,大多是间接测量。而间接测量又是以直接测量为基础的,只有通过最终被测量有函数关系的其他量的直接测量,才能得到最终被测量的量值。

测量中对同一被测量可以只测量一次,称为单次测量,也可以进行多次重复测量。多次重复测量,可以分为等精度测量和非等精度测量。等精度测量指的是用同样的仪器、在相同的条件下对同一物理量进行多次测量;如果在多次测量过程中,测量仪器或条件有一项变化,即为非等精度测量。本书中的多次测量,除特别说明外,均指等精度测量。

1.1.2 误差

1. 测量误差

任何一个确定的物理量,都有一个客观存在的真实值,称为真值,这只是一个理想的概念。每一次测量,都是依据一定的理论或方法,在一定的环境中使用确定的工具,由一定的人来完成的,得到的结果称为测量值。测量值与真值不可能完全相同,其差值称为测量误差。如果用 Δx 来代表误差,用 x 来代表测量结果,用 $x_{\text{真}}$ 来代表被测量的真值,则有

$$\Delta x = x - x_{\text{真}}, \quad (1-1-1)$$

由此式可知,误差是有正负的。当 $x > x_{\text{真}}$ 时, Δx 为正;当 $x < x_{\text{真}}$ 时, Δx 为负。 Δx 反映了测量值偏离真值的大小和方向,故称为绝对误差。

2. 绝对误差与相对误差

前面式(1-1-1)所定义的误差称为绝对误差。测量的绝对误差与被测量真值之比称为相对误差。相对误差往往用百分数来表示,即

$$E = \frac{\Delta x}{x_{\text{真}}} \times 100\%。 \quad (1-1-2)$$

绝对误差反映了误差本身的大小,而相对误差反映了误差的严重程度。必须注意,绝对误差大的,相对误差不一定大。例如

$$\begin{cases} L_1 = 25.00 \text{ mm}, \Delta L_1 = 0.05 \text{ mm}; \\ L_2 = 2.50 \text{ mm}, \Delta L_2 = 0.01 \text{ mm}; \\ L_3 = 2.5 \text{ mm}, \Delta L_3 = 0.1 \text{ mm}. \end{cases} \quad (1-1-3)$$

根据式(1-1-2)可得

$$\begin{cases} E_1 = 0.2\%, \\ E_2 = 0.4\%, \\ E_3 = 4\%. \end{cases} \quad (1-1-4)$$

从上述数据可知: $\Delta L_3 > \Delta L_1 > \Delta L_2$, 而 $E_3 > E_2 > E_1$ 。可见绝对误差的大小与相对误差的大小之间没有必然的联系。

由前面知:“真值”既然是无法知道的,那又如何来求出绝对误差和相对误差呢?

在物理实验中,一般可以采用以下几种方法来处理,即用一些非常接近真值的近似值或理论值来代替真值。

(1) 公认值:由国际计量大会约定的值。如基本物理常数、基本单位标准等。

(2) 高级仪器的测量值:由更高级的仪器测量出来的值。

(3) 理论值:由理论公式计算出来的值。如三角形三个内角和为 180° 。

(4) 多次测量的平均值:在理想条件下,可以用多次测量所得的平均值来代替真值。这也是我们常用的办法。

3. 误差的分类

误差产生的原因很多。正常的误差按照产生的原因和不同性质,可分为系统误差、随机误差。

(1) 系统误差:可以修正。

系统误差是指在同一测量条件下,对同一被测量的多次测量过程中,其误差的绝对值和符

号保持恒定或以可预知方式变化的测量误差的分量。

系统误差的来源主要有:①仪器的固有缺陷(例如电表的示值不准、零点未调好,等臂天平的两臂不相等);②环境因素(如温度、压强偏离标准条件);③实验方法的不完善或这种方法依据的理论本身具有近似性(如伏安法测电阻时没有考虑电表内阻的影响、称质量时未考虑空气浮力的影响);④实验者个人的不良习惯或偏向(如有的人习惯于侧坐斜坐读数,使读得的数值总是偏大或总是偏小);⑤动态测量的滞后等。

由于系统误差在测量条件不变时有确定的大小和正负号,因此在同一测量条件下多次测量求平均并不能减小它或消除它。

对于系统误差,必须找出其产生原因,针对原因去消除或引入修正值,对测量结果进行修正。系统误差的处理是一个比较复杂的问题,没有一个简单的公式可以遵循,需要根据具体情况做出具体的处理。首先要对误差进行判别,然后将误差尽可能地减小到可以忽略的程度。这需要实验者具有相应的经验、学识与技巧。一般可以从以下几个方面进行处理:

- ① 检验、判别系统误差的存在;
- ② 分析造成误差的原因,并在测量前尽可能消除;
- ③ 测量过程中采取一定方法或技术措施,尽量消除或减小系统误差的影响;
- ④ 估计系统误差的数值范围,对于已定系统误差,可用修正值(包括修正公式和修正曲线)进行修正;对于未定系统误差,尽可能估计出其误差限值,以掌握它对测量结果的影响。

我们将在今后的某些实验中,针对具体情况对系统误差进行分析和讨论。

(2) 随机误差:不可避免,但可以减少。

随机误差是指在同一被测量的多次测量过程中,以不可预知方式变化的测量误差的分量。

根据随机误差的特点可以知道,随机误差就个体而言是不确定的,但其总体(大量个体的总和)服从一定的统计规律,因此可以用统计方法估计其对测量结果的影响。

4. 精密度、正确度与准确度

这三个名词分别用来反映随机误差、系统误差和综合误差的大小。如图1-1-1所示,(a)的情况属于随机误差小、系统误差大,故可以说成“精密度高、正确度不高”;(b)的情况属于系统误差小、随机误差大,故可以说成“正确度高、精密度不高”;(c)的情况属于随机误差与系统误差都小,故可以说成“精密度与正确度都高”。显然,只有(c)的情况下,准确度才高,而(a)、(b)两种情况的准确度都不高。

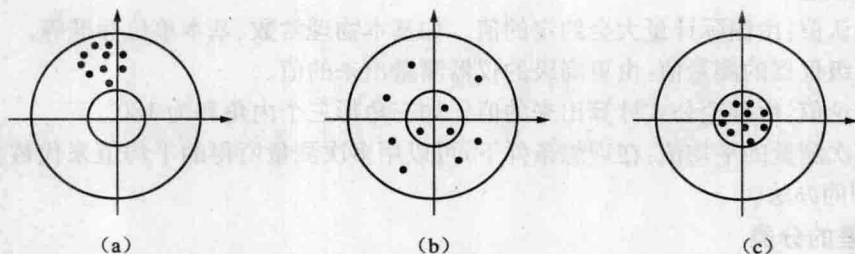


图1-1-1 关于精密度、正确度、准确度的示意图

除了上述三个名词外,还会常常遇到“精度”这个名词。以前经常用它来标志实验仪器或测量的误差。精度是误差的反义词,精度的高低是用误差来衡量的。误差大则精度低,误差小

则精度高。

§ 1.2 测量的不确定度评定

1.2.1 不确定度基本知识

由于在英文中“误差(error)”一词同义于过失、错误、差别、不符、差异,而“不确定度(uncertainty)”一词同义于有疑问、含糊、不明确、不知道、不完善的知识,因此“不确定度”一词更能表示测量结果的性质,因此使用“不确定度”一词越来越多。

由于误差表示测量结果与真值的差异,但真值经常无法得知,因而误差通常也无法知道。实际上更多遇到的是不确定度问题。

1. 不确定度概念

不确定度是对测量误差的一种综合评定,是被测量的真值以一定的概率落在某一量值范围的估算。

由前所述,误差通常无法知道,而不确定度是可以估算的。其估算方法随后将作介绍。测量不确定度是测量质量的一个极其重要的指标。测量结果的使用与其不确定度有密切的关系,不确定度大,则其使用价值低,不确定度小,则其使用价值高。不确定度具有概率的概念,若为正态分布,不确定度的概率为 68.3%。当不确定度乘以置信因数后得出总不确定度,此时对置信因数或置信概率必须加以说明。所谓“置信概率”,指的是真值有多大的概率落在所确定的范围内。

例如有一个测量结果: $L=1.50\text{ mm}$, $\sigma=0.05\text{ mm}$,服从正态分布,则表示真值有 68.3% 的概率落在 $L-\sigma$ 到 $L+\sigma$ 之间,即落在 1.45 mm 到 1.55 mm 之间。如果在前面乘以置信因数 3,则总不确定度变为 $3\sigma=0.15\text{ mm}$,相应地其置信概率增大为 99.73%,即真值有 99.73% 的概率落在 $L-3\sigma$ 到 $L+3\sigma$ 之间,也即 1.35 mm 到 1.65 mm 之间。

2. 不确定度的分类

测量中的误差是不同类型误差的总体表现,因此测量结果的不确定度一般包含几个分量。按其数值的评定方法,不确定度可分为两类:

(1) A 类不确定度 Δ_A :用统计方法计算的不确定度分量。

(2) B 类不确定度 Δ_B :用其他方法估算的不确定度分量。

将不确定度的 A 类分量与 B 类分量合成,得到的就是合成不确定度 Δ 。一般常用“方和根”的合成方法作为合成不确定度。

即

$$\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} \quad (1-2-1)$$

式中 Δ 为合成不确定度, Δ_A 为 A 类分量, Δ_B 为 B 类分量。

注意: Δ_A 和 Δ_B 分量一般又含有几个分量。本教材约定 Δ_A 只考虑由统计方法估算评定的随机误差中的标准偏差, Δ_B 只考虑由估算方法评定的仪器误差,其他分量不需考虑。

3. A 类不确定度分量 Δ_A 估算方法

假设对某物理量 x 进行了 n 次等精度测量,测得的测量值分别为: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, 先求

其平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1-2-2)$$

再求其算术平均偏差 Δx 和标准偏差 S_x :

$$\Delta x = \frac{1}{n}(|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + \cdots + |x_n - \bar{x}|) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{x}|), \quad (1-2-3)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (1-2-4)$$

式(1-2-4)称为贝塞尔公式, S_x 表示这一组测量中算术平均值 $\bar{x}$ 的标准偏差, 其物理含义是: 在这一组测量中, $\bar{x}$ 落在 $(\bar{x} - S_x, \bar{x} + S_x)$ 区间的概率为 68.3%, $\bar{x}$ 为最佳值。

一般情况下, 当测量次数 n 大于 5 时, S_x 就可以作为 A 类不确定度分量 Δ_A , 即

$$\Delta_A = S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (1-2-5)$$

例 1 在测量某圆柱体的直径 D 时, 共测量 10 次, 数值如下表所示, 试求测定直径 D 的 A 类不确定度分量 Δ_A 。

表 1-2-1 测量某圆柱体的直径

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D/cm	2.00	2.01	2.02	1.99	1.99	2.00	1.98	1.99	1.97	2.00

解 D 的平均值为

$$\bar{D} = \frac{2.00 + 2.01 + \cdots + 2.00}{10} = 1.995 \text{ cm}.$$

D 的标准偏差为

$$S_x = \sqrt{\frac{(2.00 - 1.995)^2 + \cdots + (2.00 - 1.995)^2}{10(10-1)}} = 0.045 \text{ cm}.$$

因为此数 $n=10$ 大于 5, 故直径 D 的 A 类不确定度分量 $\Delta_A = S_x = 0.045 \text{ cm}$ 。

4. B 类不确定度分量 Δ_B 的估算

Δ_B 是由仪器误差限所对应的不确定度 B 类分量。由生产厂家按国家标准给出的仪器基本误差或仪器示值误差作为仪器误差限, 置信概率一般都在 0.95 以上。故本教材约定: 把仪器误差限 $\Delta_{\text{仪}}$ 简化地等于不确定度的 B 类分量 Δ_B , 即

$$\Delta_B = \Delta_{\text{仪}}. \quad (1-2-6)$$

注意: $\Delta_{\text{仪}}$ 一般可以在仪器的说明书上或仪表面板上查到。有时, 若仪器是给出准确度等级的, 则 $\Delta_{\text{仪}}$ 就要用下面公式计算:

$$\Delta_{\text{仪}} = \frac{\text{量程} \times \text{准确度等级}}{100}. \quad (1-2-7)$$

所以在估算得到 Δ_A 和 Δ_B 分量后, 就可以用公式(1-2-1), 求出合成不确定度 Δ 。

例 2 用量程为 25 mm、准确度等级为 0.01 的螺旋测微器测一小球的直径, 测量数值如