

# 大学物理实验

## (第2版)

龙涛 王琰 王代新 编著

清华大学出版社



# 大学物理实验

## (第2版)

龙涛 王琰 王代新 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是根据《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010版)的精神并结合实验教学改革的实际情况编写的。全书分为误差理论与数据处理、基本测量方法、基本实验仪器、基本实验、综合性实验、设计性实验、研究性实验共7章,70多个实验项目,包含力学、热学、电磁学、光学和近代物理及应用等多方面内容。书中概括介绍了物理实验中的基本测量方法和一些常见仪器的使用方法,附表列出了一些常用物理数据。

本书可作为高等理工科院校各专业的大学物理实验课程教材或教学参考书,也可作为与物理学相关的广大实验工作者的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/龙涛,王琰,王代新编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-302-29534-1

I. ①大… II. ①龙… ②王… ③王… 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(2012)第170250号

责任编辑:石磊 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:24.5 字 数:503千字

版 次:2008年3月第1版 2012年9月第2版 印 次:2012年9月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:38.00元

# 前 言

本书是为适应当前实验教学改革的要求,根据教育部《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010 版)的精神,在 2008 年出版的《大学物理实验》教材基础上,经过几年教学实践并根据广大师生的意见和建议,结合我校新增的仪器设备而编写的。对第 1 版的内容作了部分调整和修改,增加和删减了部分实验项目,使修订后的内容更完善。全书共列出实验项目 70 多个,内容广泛,叙述深入浅出。

大学物理实验是理工科学生必修的一门重要的基础实验课程,也是学生进入大学后较早接触到的一门系统的实验课程。为了使学生在有限的时间内能系统地掌握物理实验的基本知识和基本方法,培养学生的实验动手能力,促使学生积极参与实验,为后续实验课程奠定基础,本书在修订过程中保持了原有的实验教学内容体系,保证学生通过实验课能较好地掌握和运用理论知识,并能提高实验技能。

本书第 1~3 章采用较多的篇幅对误差理论及数据处理的基础知识进行了详细介绍,通过一些实验项目的举例对测量误差的估计、完整的数据记录和处理、误差分析方法等方面进行了介绍并提出具体要求,以培养学生严谨的工作态度。

第 4 章是基础实验,这类实验对实验项目的目的、实验原理和实验仪器作了简明扼要的阐述,给出了实验思路和方法。通过这类实验项目的训练使学生能正确使用基本仪器,掌握基本物理量的测量方法和基本实验操作技能,加深对物理基础理论知识的理解。

第 5 章和第 6 章是综合设计性实验。这类题目的实验过程要求非常明确,学生可按实验原理、实验步骤、实验方法及参考仪器的合理选择来完成。通过该类实验可提高学生独立分析问题和解决问题的能力,同时也有助于学生综合实践能力的提高。

第 7 章是研究性实验。这类实验注重趣味性、科学性,还带有科学研究的性质。学生通过查阅参考书和相关的资料,独立地写出实验原理、实验步骤、实验方法,合理选择实验仪器。通过这类实验项目的训练可以帮助学生初步学习如何独立地完成一项研究性课题,充分调动学生的学习积极性,培养学生综合解决问题的能力,培养学生的创新意识、创新精神。

本书是以第 1 版教材为基础,同时也参考了兄弟院校最新的相关实验教材修订完成。参与本次修订的有龙涛、王琰、王代新、洪云、陈刚、刘英、唐裕霞、林睿等老师。

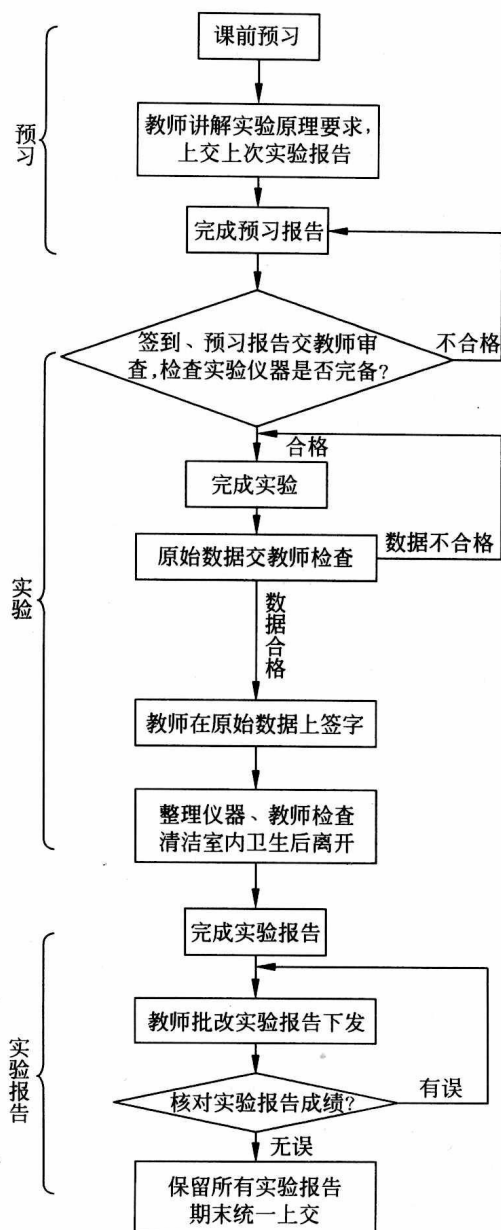
本书的修订出版得到了重庆工商大学和清华大学出版社的大力支持,重庆工商大学资助了再版经费,在此,我们一并表示衷心的感谢!

对书中存在的缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 6 月

## 物理实验课程流程图



# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 绪论                    | 1  |
| 第 1 章 误差理论与数据处理       | 4  |
| 1.1 测量与误差             | 4  |
| 1.1.1 测量的基本概念         | 4  |
| 1.1.2 误差的基本概念         | 6  |
| 1.1.3 有效数字及其运算规则      | 9  |
| 习题                    | 11 |
| 1.2 测量结果的评定和不确定度      | 12 |
| 1.2.1 不确定度及其分类        | 12 |
| 1.2.2 直接测量结果不确定度的计算   | 15 |
| 1.2.3 间接测量结果不确定度的合成   | 18 |
| 1.2.4 直接测量和间接测量结果的表达式 | 21 |
| 1.3 实验数据的常用处理方法       | 21 |
| 第 2 章 基本测量方法          | 30 |
| 2.1 比较法               | 30 |
| 2.2 放大法               | 32 |
| 2.3 补偿法               | 33 |
| 2.4 模拟法               | 35 |
| 2.5 转换法及传感器           | 36 |
| 2.6 平衡法(零示法)          | 41 |
| 第 3 章 基本实验仪器          | 43 |
| 3.1 气垫导轨              | 43 |
| 3.2 温度测量仪器            | 44 |
| 3.2.1 液体温度计           | 45 |
| 3.2.2 热电偶温度计          | 46 |
| 3.2.3 电阻温度计           | 48 |
| 3.3 电子天平              | 50 |

|            |                  |           |
|------------|------------------|-----------|
| 3.4        | 福廷式气压计           | 52        |
| 3.5        | 电磁测量仪器           | 53        |
| 3.5.1      | 电学实验中常见的电表       | 54        |
| 3.5.2      | 数字式仪表            | 60        |
| 3.5.3      | 电阻器              | 62        |
| 3.5.4      | 实验室中常用的电源        | 65        |
| 3.5.5      | 电学度量器            | 68        |
| 3.5.6      | 电磁学实验规程          | 73        |
| 3.6        | 光学实验仪器           | 83        |
| 3.6.1      | 实验室常用光源          | 83        |
| 3.6.2      | 常用光电探测器          | 86        |
| 3.6.3      | 常用光学仪器           | 88        |
| 3.6.4      | 光学实验注意事项         | 91        |
| <b>第4章</b> | <b>基本实验</b>      | <b>93</b> |
| 实验1        | 长度和固体密度测量        | 93        |
| 实验2        | 验证牛顿第二定律         | 102       |
| 实验3        | 验证动量守恒定律         | 105       |
| 实验4        | 简谐振动的研究          | 109       |
| 实验5        | 扭摆法测定物体转动惯量      | 112       |
| 实验6        | 伸长法测定杨氏弹性模量      | 118       |
| 实验7        | 弦线上波的传播规律的研究     | 124       |
| 实验8        | 落球法测量液体粘滞系数      | 128       |
| 实验9        | 电热当量的测定          | 132       |
| 实验10       | 液体表面张力系数的测定      | 136       |
| 实验11       | 测量冰的熔解热          | 140       |
| 实验12       | 固体比热容的测量         | 144       |
| 实验13       | 用电流量热器法测定液体的比热容  | 147       |
| 实验14       | 气体比热容比的测定        | 150       |
| 实验15       | 气体体膨胀系数的测定       | 152       |
| 实验16       | 滑线变阻器特性的研究       | 154       |
| 实验17       | 伏安法测电阻           | 157       |
| 实验18       | 惠斯通电桥            | 161       |
| 实验19       | 用电位差计测量电池的电动势和内阻 | 164       |
| 实验20       | 用模拟法测绘静电场        | 168       |

|       |                                |     |
|-------|--------------------------------|-----|
| 实验 21 | 示波器的原理和使用 .....                | 171 |
| 实验 22 | 灵敏电流计 .....                    | 176 |
| 实验 23 | 电子束线的偏转 .....                  | 181 |
| 实验 24 | 电子束线的聚焦 .....                  | 183 |
| 实验 25 | 用双臂电桥测低电阻 .....                | 187 |
| 实验 26 | 薄透镜焦距的测定 .....                 | 190 |
| 实验 27 | 用牛顿环测定透镜的曲率半径 .....            | 194 |
| 实验 28 | 分光计的调节及棱镜顶角的测量 .....           | 198 |
| 实验 29 | 单缝衍射光强分布及单缝宽度的测量 .....         | 205 |
| 实验 30 | 光栅衍射 .....                     | 209 |
| 实验 31 | 棱镜折射率的测量 .....                 | 213 |
| 实验 32 | 双棱镜干涉测光波波长 .....               | 216 |
| 实验 33 | 透镜组基点的测定 .....                 | 220 |
| 实验 34 | 偏振现象的观察 .....                  | 224 |
| 实验 35 | 密立根油滴实验 .....                  | 228 |
| 实验 36 | 弗兰克-赫兹实验 .....                 | 235 |
| 实验 37 | 原子光谱实验——小型棱镜读(摄)谱仪测汞原子光谱 ..... | 241 |
| 实验 38 | 光电效应 .....                     | 246 |
| 实验 39 | 塞曼效应 .....                     | 252 |
| 实验 40 | 迈克耳孙干涉仪实验 .....                | 262 |
| 实验 41 | 旋光现象及应用 .....                  | 268 |
| 第 5 章 | 综合性实验 .....                    | 274 |
| 实验 1  | 声速的测量 .....                    | 274 |
| 实验 2  | 用霍尔位置传感器法测杨氏模量(弯曲法) .....      | 278 |
| 实验 3  | 金属线膨胀系数的测定 .....               | 282 |
| 实验 4  | 传感器电阻温度系数的研究 .....             | 285 |
| 实验 5  | 不良导体导热系数的测定 .....              | 289 |
| 实验 6  | RLC 电路特性的研究 .....              | 294 |
| 实验 7  | 用示波器观测动态磁滞回线和磁化曲线 .....        | 305 |
| 实验 8  | 电表的扩程与校准 .....                 | 310 |
| 实验 9  | 用霍尔效应测量磁场 .....                | 314 |
| 实验 10 | 交流电桥的原理和应用 .....               | 316 |
| 实验 11 | 非平衡电桥——半导体热敏电阻温度计 .....        | 325 |
| 实验 12 | 椭圆偏振光的产生和检验 .....              | 327 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 实验 13 光电池特性研究 .....             | 331 |
| 实验 14 声光衍射与液体声学特性的测定 .....      | 337 |
| 实验 15 真空的获得和真空镀膜 .....          | 342 |
| 实验 16 全息照相及再现 .....             | 350 |
| <b>第 6 章 设计性实验</b> .....        | 354 |
| 实验 1 气垫导轨上空气膜厚度的粗略测定 .....      | 356 |
| 实验 2 铜丝的电阻温度系数测量设计 .....        | 357 |
| 实验 3 热敏电阻温度开关设计 .....           | 358 |
| 实验 4 数字温度计的设计与制作 .....          | 358 |
| 实验 5 液体表面张力系数的测量设计 .....        | 359 |
| 实验 6 液体体膨胀系数测量设计 .....          | 361 |
| 实验 7 用伏安法测量电源的输出特性 .....        | 361 |
| 实验 8 用电位差计校准改装电流表 .....         | 362 |
| 实验 9 设计内阻无限大的指针式电压表 .....       | 362 |
| 实验 10 设计组装欧姆表 .....             | 363 |
| 实验 11 用掠入射法测定透明介质的折射率 .....     | 363 |
| 实验 12 用干涉法测定透明介质的折射率 .....      | 364 |
| <b>第 7 章 研究性实验</b> .....        | 365 |
| 实验 1 全息光栅的制作及光栅特性的研究 .....      | 365 |
| 实验 2 傅里叶频谱的观察和分析 .....          | 366 |
| 实验 3 彩虹全息的研究 .....              | 366 |
| 实验 4 全息照相的研究 .....              | 367 |
| 实验 5 电磁感应与磁悬浮力 .....            | 368 |
| 实验 6 偏振光反射率与入射角的关系及折射率的测定 ..... | 369 |
| 实验 7 望远镜与显微镜的组装 .....           | 371 |
| 实验 8 用激光显示李萨如图形 .....           | 372 |
| <b>附录 常用数据表</b> .....           | 374 |
| <b>参考文献</b> .....               | 382 |

# 绪 论

物理学是一门实验科学,物理规律的研究一般都以严格的实验事实为基础,并不断受到实验的检验。在物理学的发展过程中物理实验一直起着重要作用,在探索和开拓新的研究领域中,物理实验仍然是有力的工具。大学物理实验课是对学生进行科学实验基础训练的一门重要课程,是继物理理论课程之后独立开设的一门实验课程。它不仅加深学生对物理理论的理解,更重要的是能使获得基本的实验知识,在实验方法和技能等方面得到较为系统、严格的训练。因此,物理实验是学生在大学里学习或从事科学研究的起步。同时,在培养学生良好的科学素质和科学世界观方面,物理实验也起着潜移默化的作用。因此,学好物理实验对于高等院校理工科的学生十分重要。

## 1. 物理实验课的目的和任务

(1) 通过对物理现象的观测和分析,学习运用物理理论指导实验,分析和解决实验中的问题。通过理论和实际的结合加深对理论的理解。

(2) 培养学生科学研究的初步能力。这些能力是指: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技能;能记录和处理实验数据,分析实验结果和撰写实验报告;以及自行设计和完成一些比较复杂的实验任务。

(3) 培养学生实事求是的科学态度,严谨踏实的工作作风,勇于探索、坚韧不拔的钻研精神以及遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的良好品德。

## 2. 物理实验的主要环节

物理实验是学生在教师的引导下独立完成的一项实践活动,为达到物理实验课程的目的,学生在实验过程中应以严谨的科学态度认真对待实验中的每一个环节。现将主要环节和要求做如下说明。

### 1) 实验预习

实验课前认真阅读实验教材和有关参考资料(解决做什么,依据什么去做,怎么做),并学会从中归纳出该实验所采用的原理、公式、方法、实验仪器及弄清楚实验过程中的关键问题,在充分预习的基础上写出预习报告。预习报告的内容包括实验原理、公式、线路图或光路图及数据记录表格。可预约进入实验室进行课前预习。

## 2) 实验操作

学生进入实验室操作前应先在实验运行记录册上签到,仔细阅读实验室规则。然后在教师的指导下对实验用的仪器设备进行检查调试,细心观察实验现象,捕捉和分析实验现象,认真钻研和探索实验中的每一个问题,自觉地应用理论知识指导实验操作。若发现异常和仪器故障时,应报告老师,并在教师的指导下学习排除故障的方法。对实验数据的测定要严肃认真,并做好完备而整洁的记录,例如分组编号、主要仪器名称、规格等。记录数据应用钢笔或圆珠笔,测得的数据应直接记录在预习报告的表格中,如确系记错了,也不要涂改,在旁边写下正确值,以供在分析测量结果和误差时作参考,注意正确记录有效数字和物理量的单位。通过这一环节将培养同学们的实际动手能力、分析问题和解决问题的能力。

完成实验后要对实验数据进行及时的整理。如果原始记录删改较多,对重要的数据要重新列表,再送教师审阅、签名认可后,然后再整理仪器设备及实验桌椅,离开实验室。

## 3) 实验报告、总结

实验报告是对实验工作的全面总结,书写实验报告是培养科学表达能力的主要环节。在实验报告中要将原始记录数据重新列在正式的报告纸上,实验后要对数据及时进行处理,数据处理过程包括计算、作图、误差计算与分析等,计算要有计算式,代入的数据要有根据,既便于别人能看懂,也便于自己检查,数据处理后应写出实验结果。实验报告要求文字工整,语言简洁明了、层次清楚、图表规范,结论确切可行,分析全面中肯,有独到的见解。

## 3. 物理实验的具体要求

### 1) 预习报告

要求用统一的实验报告纸按格式要求书写,书写内容简洁、明了、工整、清晰。具体内容有:

- (1) 实验题目、实验者姓名、实验日期、班级、学号、指导教师。
- (2) 实验目的。
- (3) 仪器用具。包括型号、编号、参数等。
- (4) 实验原理。简要叙述有关实验内容(包括电路图、光路图或实验装置示意图)及测量中依据的主要公式,公式中各量的物理含义及单位,公式成立满足的实验条件以及数据记录表格等,不要照抄教材。
- (5) 实验注意事项,实验仪器的操作规程。
- (6) 回答教师要求的预习思考题。

上课前将实验预习报告交指导教师审查,合格者才能进行实验。无预习报告的不能进行实验,学生应重新预习实验后,预约补做实验,本次成绩按“不及格”记分。如果没有

补做实验,本次实验成绩按“零分”记。

## 2) 实验操作

(1) 进入实验室后,上交本次的预习报告和上次的实验报告,在实验运行记录册上签到,检查实验仪器是否完备,如不完备,应立即向教师汇报。

(2) 实验操作中,教师根据实验者完成实验的操作情况、实验程序规范程度、实验数据合乎要求的情况,给定每个实验者的操作成绩。

(3) 对于在规定的时间内测量的实验数据不合格者或不能完成实验者,本次实验成绩按“不及格”记,并要求其重做。未重做者,本次实验成绩按“零分”记。

(4) 伪造或抄袭数据者本次成绩记“零分”。

(5) 实验原始数据经教师签字认可后,整理好仪器设备及实验桌椅后,方可离开实验室。

## 3) 实验报告

实验报告要求在预习报告的基础上继续完成,按要求处理实验数据,正确表示实验的结果,报告书写图文清晰、工整,并附上教师签字的原始数据,具体内容有:

(1) 实验步骤。根据自己实际的实验操作写出主要步骤。

(2) 实验数据表格与数据处理。尽可能用列表法记录和处理数据,完成计算、绘出曲线。

(3) 正确表示本次实验的结果、计算误差,对误差来源进行分析。

(4) 小结或讨论。可供讨论的内容很多,内容不限,可以是实验中现象的分析、改进实验的建议、解决实验中关键问题的体会、实验的心得体会和见解等。

(5) 回答教师指定的思考题。

# 第 1 章 误差理论与数据处理

## 1.1 测量与误差

### 1.1.1 测量的基本概念

#### 1. 测量的定义

为了取得被测对象的量值而进行的实验称为测量。在测量中,是把被测对象与体现测量单位的标准工具进行比较。比较的结果在数值上体现为测量单位的倍数。可以用以下的方程式来表示测量的过程:

$$L = cS \quad (1.1.1)$$

式中, $L$  为被测量; $S$  为测量单位;比值  $c=L/S$  就是测量的结果,它反映了被测量相对于某一测量标准在数字上的关系。显然, $c$  的大小与  $S$  的选取有关,即用不同大小的单位来测量同一物理对象,所得的比例值不会相同。例如,假若用单位为  $1\text{m}$  的米尺来测量某一物体的长度,得比例值  $23.5$ ;如改用单位为  $1\text{mm}$  的量尺来测量,其数值就会是  $23500$ 。在实际的科学研究和生产实践中,对测量结果的要求各不相同,因而在测量方法上也千差万别,其涉及的具体问题也是多种多样的。选取正确的测量单位是进行测量的一个首要前提。例如,不能用  $\text{m}$  作为单位来测量时间,也不宜用  $\text{g}$  来表示一个人的体重。

由于不同的测量要使用不同的测量单位,为消除混乱,有必要统一各种单位。现通常都使用国际单位制,其测量单位一般采用十进制,只有少数例外。另外,由于测量过程实际上就是将被测量与测量单位进行比较的过程,因而测量单位就必须以物质形式体现出来,而不只是一种抽象的数字。在生产和科学研究中所使用的各种仪器仪表和测量工具就是各种测量单位的物质体现。

#### 2. 测量方法及分类

测量方法是指测量原理、测量方式、测量仪器系统及测量环境条件等各种测量环节的总和。一般可以将测量分为以下几种。

##### 1) 直接测量与间接测量

直接测量是将被测物与标准量进行直接的比对,或用标定好了的仪器直接测量,从而

在不需要中间环节(通过函数运算或其他仪器的测量)的情况下得到被测物的量值。例如用米尺测量某一长度、用电压表测量电压等,这时,长度和电压都是直接得到的数值,都是直接测量。

间接测量是通过函数运算或多种不同的仪器测量而取得被测物的量值。例如,为了测量圆柱体的体积,可以通过测量其高  $h$  和直径  $D$ ,然后用公式  $V=\pi D^2 h/4$  来计算圆柱体的体积。此种测量方法就是间接测量。

## 2) 绝对测量与相对测量

测量数据就是被测物的量值的绝对大小的测量称为绝对测量。如上面所举例子中长度和电压的测量。

相对测量并不直接测量被测物的量值的绝对大小,而是通过测量被测物相对于标准量的偏差值来确定被测物的量值。例如图 1.1 中,在测量圆柱的直径  $D$  时,并不直接测量  $D$  的大小,而是测量圆柱与标准件  $H$  的差值  $d$  来间接计算  $D$  的大小。

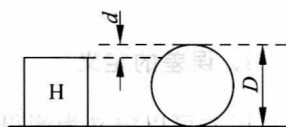


图 1.1 用相对测量法测量圆柱的直径

在大多数情况下,相对测量比直接测量更容易满足测量的精度要求。

## 3) 静态测量与动态测量

对不随时间变化的量进行的测量称为静态测量;对随时间变化的量进行的测量称为动态测量。

## 3. 精确度的概念

由于在实际中任何测量结果都不可能没有误差(即测得值并非实际的真实值),因此应有一种指标来衡量测量结果的真实可信与否。测量的精确度就表示一测量结果与真实值的相近程度。精确度越高,说明测量结果越好,越接近实际值。在误差理论中,测量的精确度是以“不确定度”来表征的。不确定度表示由于存在误差而使测量结果不能被肯定的程度大小,即表示测量结果是否代表被测对象的真实值的可能性的。不确定度是评价测量方法优劣好坏的基本指标之一。在实际的测量中,应当依据对测量精确度的不同要求,恰当地设计测量方法。这就需要对测量方法进行深入的、正确地应用误差理论知识并且联系实际。但是应当注意到,提高测量精确度的任何努力都要有一定的代价。因为高精度就往往意味着更精密的仪器、更多的测量、更长的时间、更多的计算,等等。因此,从经济效益的角度来考虑,并非每次测量的精确度越高越好。

## 4. 不确定度的概念

不确定度是表征被测量真值所处范围的评定结果,这个范围以一定概率包含着被测

量的真值。不确定度越大,这个范围包含真值的置信度(概率)就越高。按其数值评定方法,它们可分为以下两类:

A类不确定度。用统计方法计算的那些分量(与数据的离散性对应),常用字母 $\sigma_A$ 表示。

B类不确定度。用其他方法估算的那些分量(与仪器的欠准确对应),常用字母 $\sigma_B$ 表示。

注意: A、B类不确定度与传统划分的随机误差、系统误差并不存在简单的对应关系。

### 1.1.2 误差的基本概念

#### 1. 误差的定义

误差可以定义为测得值 $x$ 与真实值 $x_0$ 的差值,也称为绝对误差,记为 $\epsilon$ ,表示为

$$\epsilon = x - x_0 \quad (1.1.2)$$

真实值在一般情况下是未知的,它只是表示客观上存在着这样一个值,但人们无法知道。在有些时候,国际公认的最高基准量也可看作是一种真值,称为约定真值。于是,用约定真值代替真实值计算的误差也可称为绝对误差。

#### 2. 其他误差

##### 1) 相对误差

绝对误差有时并不能完全直观地反映测量的精确度,故而用相对误差来表示可能更方便。例如,在称一头大象时,其绝对误差为0.8g,在称一只鸡时,其绝对误差也为0.8g,同样的绝对误差并未能反映出两者在测量精确度上的好坏。相对误差定义如下:

$$E = \epsilon / x_0 \times 100\% \quad (1.1.3)$$

用相对误差能确切地反映测量效果。被测量的大小不同,其允许的绝对误差也应有所不同。被测量越小,绝对误差也应越小。

##### 2) 引用误差

有时还使用引用误差。引用误差属于相对误差的一种,常用于仪表的测量中,特别是对多挡仪表的精度评定。在多挡仪表中,其各挡次、各刻度位置上所产生的测量误差都不相同,不宜使用绝对误差。引用误差的规定如下:

$$\text{引用误差} = \text{示值误差} / \text{最大量程} \times 100\% \quad (1.1.4)$$

其中,最大量程是指仪表的最大刻度数,示值误差是指仪表指示出的数值的绝对误差。引用误差的大小规定了仪表的精度等级。如精度等级为0.2的电表,其最大允许的引用误差就是0.2%。

**例 1.1.1** 经检定发现,量程为 250V 的电压表在 200V 处的示值误差最大为 5V。请问此电压表是否合格(设合格的电压表为 2.5 级)?

**解** 按电压表精度等级的规定,2.5 级的电压表的最大允许引用误差为 2.5%。该电压表的检定结果说明其实际的最大引用误差为

$$q = 5/250 \times 100\% = 2\%$$

此实际的最大引用误差小于 2.5 级电压表规定的引用误差 2.5%,故该电压表合格。

**例 1.1.2** 甲、乙两枪手分别站在离靶 100m 处和 50m 处对靶心射击。甲枪手的成绩为 9.5 环,乙成绩为 9.7 环,问谁的射击技术好?

**解** 由于甲、乙站在不同的地方,可用相对误差来比较两者的成绩。甲的偏差为 0.5 环,乙的偏差为 0.3 环。两者的相对误差分别为

$$\text{甲的相对误差} = 0.5/100 \times 100\% = 0.5\%$$

$$\text{乙的相对误差} = 0.3/50 \times 100\% = 0.6\%$$

相对误差的比较结果说明甲的射击技术比乙的好。

**例 1.1.3** 分别用同一电表的 100 挡和 200 挡测量同一电压 80V,电表的等级为 1.5。试问:用电表的哪一挡测量误差更小?若用 100 挡来测量 5V 电压又如何?

**解** 等级为 1.5 的电表的最大允许引用误差为 1.5%。依据式(1.1.4)知

$$\text{仪表的示值误差} = \text{量程} \times \text{引用误差}$$

可以分别计算出两挡的示值误差大小:

$$100 \text{ 挡时, 误差} = 100\text{V} \times 1.5\% = 1.5\text{V}$$

$$200 \text{ 挡时, 误差} = 200\text{V} \times 1.5\% = 3.0\text{V}$$

显然,用 100 挡来测量时,其误差要小得多。

若用 100 挡来测量 5V 的电压,误差也是 1.5V,此时的相对误差就高达  $1.5/5 = 30\%$ 。此例说明,在用有等级度的仪器来测量时,应尽可能地使仪器指针在满刻度周围。

### 3. 研究误差的意义

在测量中出现误差是不可避免的。从某种意义上来说,任何科学定律都是一些近似的结果。实践证明,任何测量方法所取得的任何一个测量数据都不是绝对准确的,都包含一定的误差,只是大小不同而已。科学的进步会改进和完善测量的方法和仪器,但是并不能消除误差的出现。因而,研究误差的规律就具有普遍的积极意义。了解了误差的各种规律性后才能更合理地使用仪器、设计仪器,拟定好的测量方法并正确地处理测量所得的各种数据,使所得实验结果更真实可信。

简明扼要地说,研究误差的意义就是:①提高测量的精度以减少误差的影响;②对所得结果的可靠性作出评定,即给出结果的不确定度的大小,以指明结果的可靠程度。

#### 4. 误差的分类

误差可以按不同的标准划分为不同的种类,但一般是按误差的特征规律性来进行分类,这样的分类便于误差的分析和研究。误差可分为以下三种。

##### 1) 系统误差

固定不变或按一定规律变化的误差就是系统误差。例如,电压的周期性波动而使仪表示值产生的误差。又如,米尺刻度的不均匀而使测量的数据有误差。系统误差尽管有一定的规律,但在许多情况下这些规律并不一定被确知,特别是对某些复杂的测量系统来说。例如,由于电子仪器的热漂移产生的误差,虽然有一定的规律,但是却难于掌握或了解,要消除这种误差也是十分困难的。对已知其规律性的系统误差可通过“修正”的方法从测量结果中消除。对未知其规律性的系统误差(称为不确定的系统误差)一般可将其看作是一种随机误差而按随机误差的处理方法来处理。

##### 2) 随机误差

在同一条件下对同一被测量进行多次重复测量时,测量数据的误差值或大或小、或正或负,且大小正负没有确定的规律性,是不可预测的,这类误差称为随机误差(以前也称为偶然误差)。例如,用米尺测量长度时,数据中出现的微小的无规则变化就是由误差的随机性产生的。随机误差在实质上是一种随机变量,因而具有随机变量的所有特性。随机变量的取值无规律可循,但在大量的统计数据中却表现出一定的规律,取值具有一定的概率分布特征,可利用概率论的方法来对其进行研究。最简单的例子就是抛掷硬币的情况,硬币出现正面还是反面是不可预见的,其出现正面或反面是无规则可循的,但是大量的重复实验的统计数据表明,正反面出现的次数接近相同。从概率角度来讲,正反面出现的几率各为  $1/2$ 。随机现象的另一个典型例子是布朗运动。在布朗运动中,每一分子的速率时快时慢,且其运动的方向也无规则地改变着,但从整个分子群的角度来看,其分子的速率大小分布有一定的规则,运动的方向也是各向同性的。也就是说,在任一时刻,沿各个方向运动的分子数一样多,且具有某一速率大小的分子数目是不变的。

##### 3) 粗大误差

粗大误差以前也称为“过失误差”,它是指超出正常范围的异常的误差。例如,在测量中,测量数据列为: 12.56, 12.56, 12.57, 12.55, 12.56, 但此时突然测得一个数据 13.85。显然, 13.85 与其他数据比较起来实在是大不相同。在一般情况下,应认为此数据就包含有粗大误差。这样的数据应去除。

#### 5. 误差的来源

误差是由于测量过程中许多可知或不可知的因素引起的,主要有以下几个方面。